

ИЗВѢСТІЯ
Томскаго Технологическаго Института

Императора Николая II,

т. 11. 1908. № 3.

Перечень главъ и параграфовъ

Вступленіе.

1. Введеніе. Математическія основанія задачи.

2. Практическія основанія. Формулы вычисления.

II.

О. К. Ясевичъ.

ИЗСЛѢДОВАНІЕ БАЛЛАСТОВЪ*).

Статья 1; съ приложеніемъ 3 таблицъ чертежей.

1—115.

*) Настоящая статья, въ первоначальной ея редакціи, оказалась уже напечатанной до выхода въ свѣтъ настоящаго тома „Извѣстій“ въ книгахъ 2, 3 и 4 Журнала Министерства Путей Сообщенія за 1908 г., куда она была послана авторомъ въ качествѣ законченной замѣтки по разсматриваемому вопросу. Здѣсь она же помѣщается, въ нѣсколько измѣненномъ видѣ, какъ часть имѣющей быть напечатанной полной монографіи.

Перечень главъ и параграфовъ.

Вступленіе.

§ 1. Важность изученія установившагося типа верхняго строенія пути.

§ 2. Практическая необходимость формулъ напряженія въ рельсахъ.

§ 3. Несовершенство употребляющихся формулъ.

§ 4. Необходимость наблюденій деформаций пути.

I. Роль балласта, какъ элемента верхняго строенія пути.

§ 5. Балласть, какъ самая неустойчивая часть верхняго строенія.

§ 6. Опредѣленіе балласта и главныя его свойства.

§ 7. Величина упругости балластовъ.

§ 8. Коэффициентъ податливости балластного слоя C_0 .

II. Требования, предъявляемыя къ балластамъ, и ихъ выполненіе.

§ 9. Свойства балласта, вліяющія на устойчивость пути, его прочность и на значеніе C_0 .

§ 10. Толщина балластного слоя и ширина его.

§ 11. Осушеніе верхней поверхности полотна.

§ 12. Водопроницаемость и однообразіе въ крупности частицъ балласта.

§ 13. Устойчивость балласта относительно горизонтальныхъ усилій.

§ 14. Условія прочности балластного слоя.

III. Вопросъ о балластѣ въ связи со свойствами прочихъ частей пути.

§ 15. Опредѣленіе вертикальнаго давленія паровозной оси на шпалу.

§ 16. Формулы для опредѣленія опусканія шпаль и введеніе въ нихъ коэффициента C_0 .

§ 17. Обычныя скорости движенія и опыты съ электровозами.

§ 18. Опредѣленіе вліянія скорости на прогибы и напряженія рельсовъ.

§ 19. Методъ Н. Петрова опредѣленія динамическихъ прогибовъ и напряженій въ рельсахъ.

§ 20. Примѣненіе формулъ Н. Петрова для опредѣленія вертикальныхъ деформаций балласта.

§ 21. Наблюденія надъ движеніями паровоза, вліяющими на путь.

IV. *Опытное изученіе физическихъ и механическихъ свойствъ балласта.*

§ 22. Результаты измѣреній балластныхъ песковъ Рязанско-Уральской желѣзной дороги.

§ 23. Лабораторные опыты съ балластами Сибирской желѣзной дороги.

§ 24. Необходимость систематическихъ наблюденій на особой опытной станціи надъ вліяніемъ статической нагрузки на разныя части верхняго строенія.

V. *Сводныя о балластахъ заграничныхъ дорогъ.*

§ 25. Техническая сторона вопроса.

§ 26. Экономическіе расчеты выгоды примѣненія балласта высшихъ качествъ.

VI. *Характеристика балластовъ русскихъ желѣзныхъ дорогъ.*

§ 27. Техническая сторона вопроса.

§ 28. Экономическая сторона вопроса.

§ 29. *Заключеніе.*

Вступленіе.

§ 1. Конструкція и главные размѣры желѣзнодорожнаго пути (рельсы прикрѣплены къ поперечинамъ, весьма рѣдко къ продольнымъ лежнямъ, все это покоится въ невысокомъ слое балласта, передающаго давленіе полотну) остаются тѣми же чуть-ли не съ самаго начала построекъ желѣзныхъ дорогъ. Въ разныхъ странахъ, при тѣхъ или другихъ условіяхъ движенія, примѣняютъ различнаго вѣса рельсы (для нормальной колеи отъ 18 до 38 фун. въ пог. футѣ, т. е. отъ 24 до 52 кг. въ пог. метрѣ), нѣсколько иныхъ размѣровъ шпалы (шириной 20—27 см., высотой 12—15 см., длиной 2,5—2,7 м.), балластъ разнообразныхъ качествъ (при высотѣ слоя 10—35 см. подъ подошвой шпалы), при чемъ употребляютъ какъ самый мелкій песокъ, такъ и розсыпь весьма крупной гальки или щебня, иногда искусственнаго приготовленія. Однако общій составъ типа верхняго строенія пути остается всюду одинъ и тотъ же и оказывается довольно устойчивымъ и дешевымъ. Это даетъ поводъ думать, что привившаяся конструкція пути является вполне рациональной и, навѣрное, на долгіе годы, если не на всегда, останется безъ существенныхъ измѣненій. Мысль эта, съ одной стороны, можетъ внушить технической наукѣ и всѣмъ заинтересованнымъ въ безопасности желѣзнодорожнаго движенія и правильномъ его развитіи, т. е. всему человѣчеству, надежду, близкую къ увѣренности, что сама практика многихъ сотенъ тысячъ верстъ желѣзнодорожнаго пути въ всѣхъ странахъ постепенно улучшить этотъ основной типъ пути и приведетъ въ каждой части желѣзнодорожной сѣти устройство его и способъ содержанія въ полное соотвѣтствіе съ условіями и вліяніями, подъ дѣйствіемъ которыхъ тамъ путь находится. Съ другой стороны то обстоятельство, что тотъ же типъ примѣняется всюду и будетъ устраиваться и ремонтироваться на миллионы рублей ежегодно, заставляетъ обратить серьезнѣйшее вниманіе на тщательное изслѣдованіе роли, какую играютъ отдѣльныя части такого верхняго строенія пути, и выясненіе, какія мѣры надо принимать, чтобы состояніе пути въ каждомъ данномъ мѣстѣ вполне соотвѣтствовало тѣмъ

Важность
изученія
установив-
шагося типа
верх. строе-
нія пути.

усиліямъ, какимъ онъ подверженъ и тѣмъ біологическимъ, такъ сказать, функціямъ, какія онъ несетъ. Два предмета должны постоянно изучаться желѣзнодорожной техникой—конструкція верхняго строенія пути и конструкція паровоза. Хорошее устройство и соответствіе работы этихъ двухъ элементовъ обезпечиваютъ фундаментъ для возможной безопасности движенія. Техникамъ приходится на разныхъ поприщахъ желѣзнодорожнаго дѣла удовлетворять запросамъ рациональной экономіи въ устройствѣ различныхъ сооружений и ихъ эксплуатаціи, стремиться къ всестороннему удовлетворенію потребностямъ, предъявляемымъ населеніемъ къ движенію какъ пассажирскому, такъ и товарному, и при этомъ всегда помнить, что желѣзнодорожное дѣло постоянно идетъ впередъ, развивается, что никогда не остановится ростъ предъявляемыхъ къ желѣзнымъ дорогамъ требованій—по возможности безопасно, дешево и успѣшно перевозить по той же дорогѣ все большее количество грузовъ и пассажировъ съ все большей и большей скоростью.

Успѣшность и дешевизна перевозокъ зависятъ отъ всего комплекса устройствъ желѣзной дороги и организаціи ея эксплуатаціи, безопасность же движенія зависитъ, не единственно, но, конечно, прежде всего,—отъ того, на сколько можно быть увѣреннымъ, что пущенный по имѣющемуся пути паровозъ можетъ благополучно идти по немъ. Заботы о безопасности движенія должны быть первою обязанностью желѣзнодорожныхъ инженеровъ, такъ какъ имъ вѣряетъ общество техническую эксплуатацію желѣзныхъ дорогъ и, слѣдовательно, опеку надъ жизнью пассажировъ всѣхъ поѣздовъ.

Авраамъ Линкольнъ, радуя за возможно быстрое развитіе сѣти американскихъ желѣзныхъ дорогъ, высказалъ, что для страны важнѣе, чтобы дорожная сѣть была больше при условіи болѣе дешевой постройки, чѣмъ сохраненіе нѣсколькихъ десятковъ жизней цѣной увеличенія стоимости постройки при доведеніи безопасности движенія до минимума¹⁾. Подобное разсужденіе, если и имѣетъ сколько нибудь основанія съ точки зрѣнія общегосударственной и въ боевыя эпохи, никоимъ образомъ не должно ложиться въ основаніе дѣятельности инженеровъ, призванныхъ проводить въ жизнь разработанныя технической наукой положенія и совершенствовать весь желѣзнодорожный механизмъ, неся вели-

¹⁾ Линкольнъ высказалъ слѣдующую мысль о желѣзныхъ дорогахъ: «Намъ предстоитъ выборъ: строить солидно и мало, или легко, быстро и много. Въ первомъ случаѣ мы сбережемъ ежегодно извѣстное число человѣческихъ жизней, въ послѣднемъ весь Союзъ выигрываетъ по величинѣ своей и благосостоянію. Я оплакиваю жертвы какъ человѣкъ, но какъ президентъ Союза я могу лишь совѣтовать принести ихъ». (См. Желѣзнодорожное Дѣло за 1903 г. № 1).

кую отвѣтственность за тѣхъ, которые пострадаютъ, довѣрившись этому механизму и понадѣявшись на умѣлость инженеровъ и авторитетность технической науки.

§ 2. Весьма интересный и сложный вопросъ о получающихся подъ влияніемъ дѣйствія паровоза деформацияхъ и напряженияхъ во всѣхъ частяхъ пути изслѣдователи по большей части сводятъ къ нахождению весьма цѣнныхъ для практики способовъ и формулъ для получения цифръ напряженія въ тѣхъ изъ частей пути, для которыхъ, по однородности ихъ матеріала, можетъ быть установлена предѣльная норма напряженій. Такими частями прежде всего являются рельсы. Изученіе напряженія матеріала рельсовъ ставится на первую очередь лицами, несущими общую отвѣтственность за безопасность движенія, такъ какъ имъ представляется неоспоримымъ, что, найдя вѣрный способъ опредѣлять напряженіе матеріала въ уложенныхъ въ данномъ мѣстѣ рельсахъ, они будутъ имѣть въ рукахъ возможность, если не предотвратитъ, то свести до минимума случаи излома рельсовъ подъ проходящими грузами. Они думаютъ, что для уничтоженія главной причины желѣзнодорожныхъ крушеній достаточно озаботиться устройствомъ пути такъ, чтобы матеріалъ рельсовъ представлялъ достаточный запасъ прочности при самыхъ невыгодныхъ условіяхъ воздѣйствія паровознаго колеса на данные рельсы. При этомъ предполагается, что само собою будетъ тотъ же или болѣе запасъ и въ остальныхъ частяхъ верхняго строенія, которыя, какъ болѣе удаленныя отъ мѣста приложенія усилій колеса, не должны претерпѣвать значительныхъ формоизмѣненій.

Ни одинъ, пожалуй, изъ техническихъ вопросовъ, которыми занимается инженерная наука, не интересуется такъ желѣзнодорожныхъ администраторовъ, какъ именно вопросъ о допустимыхъ предѣльныхъ скоростяхъ движенія при данномъ верхнемъ строеніи пути. При все растущей скорости и интенсивности движенія и распространеніи употребленія весьма тяжелыхъ паровозовъ (съ давленіемъ оси до 20 тоннъ) чаще всего для рѣшенія вопроса о томъ, не представляется ли крайне опаснымъ оставлять имѣющійся путь безъ радикальнаго усиленія,—не имѣется достаточныхъ указаній практики, такъ какъ опытъ другихъ линій не можетъ быть убѣдительнымъ примѣнительно къ мѣстнымъ условіямъ устройства и работы пути. Въ подобныхъ случаяхъ взоры устремляются на теорію, о которой предполагается, что она, въ качествѣ всеобъемлющей, должна дать отвѣтъ для каждаго даннаго случая.

Задача изслѣдующихъ означенный вопросъ усложняется въ виду сказаннаго, такъ какъ недостаточно ограничиться болѣе или менѣе

Практическая необходимость формулъ напряженія въ рельсахъ.

стройнымъ выясненіемъ явленія и основать на рядѣ не могущихъ быть опровергнутыми предположеній способы расчета въ простѣйшихъ случаяхъ дѣйствующихъ въ разныхъ частяхъ напряженій, но еще необходимо выяснитъ и указать, на сколько подобные расчеты могутъ охватить въ разныхъ случаяхъ явленія во всей ихъ сложности, пояснитъ, на сколько предположенія, взятія въ основаніе подсчета, соотвѣтствуютъ дѣйствительности въ каждомъ мѣстѣ, и вообще дать возможность каждому пользующемуся предложенными формулами знать, въ какихъ границахъ онъ можетъ имъ довѣрять безусловно, и въ какой мѣрѣ онѣ должны служить лишь для облегченія сложнаго процесса уясненія себѣ наиболѣе вѣрнаго взгляда на работу даннаго пути. Выводы послѣдняго рода должны дѣлаться на основаніи знанія характера каждой изъ отдѣльных частей пути и результатовъ, какіе можно вывести изъ наблюденія деформаций разныхъ существующихъ путей, работающихъ часто при исключительныхъ условіяхъ тяжести катящихся по нимъ грузовъ, ихъ скорости и плохого состоянія самаго пути.

Начальники дорогъ обязаны одинъ или вѣсколько разъ въ году, утверждая росписаніе поѣздовъ на отдѣльныхъ участкахъ дороги, предписывать въ руководству Службѣ Тяги максимальныя скорости на отдѣльныхъ частяхъ и перегонахъ, которыя не должны быть превосходимы ни при нагонахъ, ни при какихъ иныхъ обстоятельствахъ.

Чтобы притти на помощь въ этомъ вопросѣ общими указаніями, Министерство Путей Сообщенія предлагаетъ руководствоваться методами подсчета прочности рельсовъ, сдѣлавшимися популярными въ технической наукѣ, благодаря работамъ Винклера, Циммермана, Аста, Холодецкаго и др., и рекомендуетъ пользоваться тѣми или другими формулами. До 1899 г. не было издано опредѣленнаго распоряженія по этому вопросу, и управленія разныхъ дорогъ пользовались различными формулами, чаще всего Винклера: $M=0,1888 Pl$. (иногда Циммермана

$$M = \frac{8 \frac{P}{k} + 7}{16 \frac{P}{k} + 40} Pl \text{ — для статической нагрузки и Винклера}$$

$$M = \frac{0,1888 Pl}{1 - \frac{0,1888 Pl v^2}{k J g}} \text{ для динамической). Въ 1899 г. Инженерный Со-}$$

вѣтъ остановился на самыхъ вѣрныхъ, по его мнѣнію, формулахъ, и онѣ были помѣщены для руководства всѣмъ начальникамъ и управляющимъ желѣзныхъ дорогъ въ утвержденныхъ Министромъ Техническихъ Условіяхъ проектированія магистралей.

Формулы эти слѣдующія: 1) формула Циммермана

$$R_s = M \frac{z}{J} = \frac{8 \frac{k}{\mu} + 7}{16 \frac{k}{\mu} + 40} Pl \frac{z}{J}, \text{ гдѣ } \frac{k}{\mu} = \frac{12 EJ}{0,89 a b l^3 C} = \alpha,$$

дающая статическое напряженіе въ рельсѣ какъ балкѣ, лежащей на четырехъ упругихъ опорахъ (шпалахъ), и 2) формула, такъ сказать, Циммермана-Винклера

$$R_d = \frac{8\alpha + 7}{16\alpha + 40} Pl \frac{z}{J}, \text{ гдѣ } Pl = P: \left(1 - \frac{8\alpha + 7}{16\alpha + 40} \cdot \frac{Pl v^2}{EJg}\right),$$

гдѣ v скорость въ сантим. въ секунду, α R_d напряженіе въ рельсѣ при той или иной скорости движенія. Предѣльное напряженіе въ матеріалѣ рельсовъ предписано для первой формулы допускать $14 \frac{\text{кл}}{\text{мм}^2}$, для второй $20 \frac{\text{кл}}{\text{мм}^2}$ (и $25 \frac{\text{кл}}{\text{мм}^2}$ для скоростей выше 60 верстъ въ часъ).

Для еще большаго облегченія задачи установленія скоростей на отдѣльных линіяхъ и ихъ участкахъ Управление желѣзныхъ дорогъ, подсчитавъ по указаннымъ формуламъ и введя въ результаты еще поправки и ограниченія, указываемыя практикой службы верхняго строенія (такъ какъ упомянутыя формулы приводятъ иногда къ явно невѣрнымъ цифрамъ), установило для нѣкоторыхъ типовъ рельсовъ ($32\frac{1}{2}$, $28\frac{1}{2}$, $24\frac{1}{3}$ и $22\frac{1}{2}$ фун. въ погон. футѣ) тѣ нагрузки и высшія предѣльныя скорости, которыя не должны быть никоимъ образомъ превзойдены (Приказъ М-ра П. С. отъ 14 января 1903 г. № 14).

§ 3. Съ какою бы осторожностью ни исправлять полученные по формуламъ результаты,—все же для того, чтобы пользоваться этими формулами, надо имѣть гарантіи, что онѣ имѣютъ хоть что нибудь общее съ дѣйствительной работой желѣзнодорожнаго пути. При ближайшемъ ознакомленіи оказывается, что указанные формулы, интересныя сами по себѣ, совершенно не пригодны для той цѣли, которую имъ предназначено исполнять, именно провѣрять общую устойчивость даннаго пути. Причина этого та, что выводъ ихъ дѣлался на основаніи цѣлаго ряда предположеній, мало имѣющихъ общаго съ дѣйствительностью и, во всякомъ случаѣ, не обнимающихъ всѣхъ обстоятельствъ работы пути.

Несовершенство употребленныхъ формулъ.

1) Начнемъ со второй формулы.

Дѣйствіе катящагося по рельсу колеса можно разсматривать раздѣленнымъ по крайней мѣрѣ на три отдѣльные дѣйствія—статическую вертикальную нагрузку, динамическую нагрузку вертикальную и такую же горизонтальную. Въ формулѣ Циммермана-Винклера изъ всѣхъ добавочныхъ дѣйствій, появляющихся при движеніи осей (обыкновенно считаютъ слѣдующія: галлопированіе паровоза, т. е. перемежающаяся перегрузка передней и задней осей, зависящая отъ колебанія его около горизонтальной поперечной оси, вліяніе, т. е. колебаніе около вертикальной оси, зависящее отъ присутствія въ паровозѣ частей съ перемѣннымъ движеніемъ, перегрузка того или иного колеса въ зависимости отъ неровностей и несовершенной подбивки пути, послѣдовательное усиленіе и ослабленіе нагрузки колеса, являющееся слѣдствіемъ вертикальной составляющей центробѣжной силы при движеніи мотылей и противовѣсовъ паровозныхъ колесъ, удары объ искривленія рельсовъ, возрастающіе со скоростью, и т. д.), принята, согласно съ предположеніемъ Винклера, во вниманіе только центробѣжная сила, появляющаяся отъ того, что колесо катится между двумя шпалами не по прямой, а по вогнутой кривой. Оказывается, что, такъ какъ шпалы при проходѣ колеса надъ ними опускаются лишь немногимъ значительно, чѣмъ при прохожденіи его на пролетѣ рельса, то подвижной составъ катится почти въ плоскости—пониженной, но параллельной рельсовой колеѣ въ состояніи покоя¹⁾, и во всякомъ случаѣ стрѣлка дуги, по которой катится колесо въ пролетѣ между шпалами, выражается величиной не болѣе $\frac{1}{4}$ мм., которая не можетъ вызвать значительной центробѣжной силы.

Встрѣчая реакцію рельса, колесо за тотъ промежутокъ времени, пока оно отъ одной шпалы достигнетъ другой, не можетъ успѣть опуститься на величину, которая соотвѣтствовала бы предположенію Винклера. Итакъ расчеты напряженія въ рельсѣ при той или иной скорости при пользованіи указанной динамической формулой должны приводить къ невѣрнымъ результатамъ. Уже одно то, что при подсчетахъ по формулѣ, дающей напряженіе при статической нагрузкѣ, установленъ предѣлъ допускаемаго напряженія въ стали рельсовъ $14 \frac{\text{кг}}{\text{мм}^2}$, а для формулы провѣрки рельсовъ при движущемся грузѣ разрѣшается предѣлъ $20 \frac{\text{кг}}{\text{мм}^2}$, это одно указываетъ, что которая ни-

¹⁾ Это одно изъ положеній диссертациі Стецевича «Объ устойчивости желѣзнодорожнаго пути» 1897 г.

будь изъ этихъ формулъ, а можетъ быть обѣ, не даютъ дѣйствительнаго напряженія въ матеріалѣ рельса, а тѣмъ болѣе не могутъ характеризовать работу всего пути.

2) При статической нагрузкѣ рельса можно принять напряженіе равнымъ нѣкоторой величинѣ, полученной изъ максимальнаго изгибающаго момента (для пролета равнаго разстоянію между шпалами), дѣленной на моментъ сопротивленія рельсоваго профиля и помноженной на коэффициентъ, выражающій зависимость отъ передачи усилія на то или иное число упругихъ опоръ. Такъ собственно разсуждаетъ Циммерманъ при выводѣ своей статической формулы, но онъ позволяетъ себѣ фиксировать означенный коэффициентъ на основаніи разсмотрѣнія абстрактнаго простѣйшаго случая, на самомъ же дѣлѣ величина этого коэффициента весьма гадательна, такъ какъ степень упругаго опусканія шпаль едва ли поддается опредѣленію въ видѣ какой либо постоянной цифры и можетъ быть весьма разнообразной при томъ же типѣ рельсовъ и даже томъ же составѣ верхняго строенія пути.

Н. Петровъ предложилъ въ 1903 году новый методъ для нахождения прогибовъ и напряженій при различной скорости движенія, зная (напр. изъ опытовъ, если не на данномъ пути, то на другомъ при тѣхъ же главныхъ размѣрахъ строенія) статическія прогибы при данной нагрузкѣ. При этомъ въ тѣхъ случаяхъ, когда нѣтъ результатовъ опытовъ, для опредѣленія статическихъ прогибовъ онъ предлагаетъ пользоваться формулой, въ сущности ничѣмъ не отличающеюся отъ статической формулы Циммермана. Н. Петровъ оговаривается, что только наблюденныя статическія прогибы могутъ быть вѣрными и напередъ можно сказать, что они будутъ весьма отличаться отъ полученныхъ по имѣющимся формуламъ, такъ какъ въ послѣднія не введены всѣ обстоятельства, имѣющія вліянія на деформации пути.

Вліяніе динамической нагрузки Н. Петровъ сводитъ исключительно къ вліянію 1) неровностей продольнаго профиля рельсовъ, являющихся слѣдствіемъ ихъ износа или неправильной прокатки и 2) выбоинъ на бандажахъ, получающихся отъ торможенія. Результаты подсчетовъ по его формуламъ приводятъ къ выводамъ, съ которыми нельзя согласиться, а именно: 1) что увеличеніе скорости движенія въ предѣлахъ отъ 60 до 125 верстъ въ часъ почти не вызываетъ увеличенія въ напряженіи рельсовъ и въ прогибахъ шпаль, 2) увеличеніемъ профиля рельса нельзя достигнуть уменьшенія въ немъ напряженія при динамическомъ дѣйствіи грузовъ и 3) вѣрнымъ способомъ къ тому, чтобы въ высокой степени уменьшить напряженіе въ рельсѣ, является улучшеніе коэффициента C балласта. Очевидно формулы Петрова нисколько не лучше, если не

хуже старыхъ формулъ Винклера и Пиммермана, но методъ нахождения динамическихъ напряженій по статическимъ правиламъ.

Необходимость наблюдений деформаций пути.

§ 4. Исходя изъ той мысли, что въ такомъ сложномъ вопросѣ, какъ нахождение напряженія въ частяхъ верхняго строенія пути, необходимо основываться не на болѣе или менѣ остроумно построенныхъ формулахъ, выведенныхъ изъ теоріи упругости, а на наблюденияхъ деформаций разныхъ частей пути и, главнымъ образомъ, выгибовъ рельса и измѣненія положенія подошвы шпаль, необходимо притти къ выводу, что для сужденія о каждомъ данномъ пути, а также для вывода извѣстныхъ формулъ, дающихъ характеристику прочности различныхъ типовъ верхняго строенія, самымъ важнымъ является производство измѣреній формоизмѣненій самыхъ различныхъ путей при различныхъ условіяхъ движенія.

Опыты должны состоять въ измѣреніи какъ вертикальныхъ, такъ и горизонтальныхъ колебаній пути.

Вертикальныя колебанія были наблюдаемы многими заграничными инженерами (Веберъ, Фламанъ, Коюаръ, Гентшель, Астъ), а въ Россіи Степевичемъ и болѣе точнымъ образомъ Васютынскимъ. Работы послѣдняго, а также Коюара являются самыми обстоятельными. Они дѣлали также нѣкоторые наблюдения и горизонтальныхъ колебаній рельса. Тѣмъ не менѣ систематическія измѣренія прогибовъ въ различныхъ точкахъ пролета между шпалами и для разныхъ типовъ пути и движенія являются весьма нужными хотя бы потому, что Васютынский наблюдалъ прогибы рельса и шпаль только въ одномъ мѣстѣ Варшавско-Вѣнской желѣзной дороги. Измѣрять деформации рельсовъ, а въ особенности всего пути, въ горизонтальной плоскости гораздо труднѣе, чѣмъ въ вертикальной, а между тѣмъ является вопросомъ, не причиняютъ ли главнымъ образомъ эти деформации разстройства пути. Предварительно необходимо выяснитъ характеръ и размѣры вліянія и хроманія каждой оси подвижнаго состава, которыя, по всему вѣроятію, являются причиной какъ горизонтальныхъ выгибовъ, такъ и скручивающаго напряженія въ рельсахъ и ихъ кантованія.

Пока сказанныхъ наблюдений сдѣлано мало и изъ нихъ не выведено правильныхъ слѣдствій, приходится опираться на опытъ службы имѣющихся желѣзнодорожныхъ путей и на тщательное изученіе всякаго рода движеній, совершающихся какъ въ частяхъ подвижнаго состава, такъ и въ частяхъ пути при проходѣ по немъ поѣзда, причемъ должна быть принята во вниманіе статистика происшествій при движеніи, отзывы лицъ, близко стоящихъ къ данному пути, о степени его пригодности для того или иного движенія и субъективныя мнѣнія о немъ опытныхъ и вникающихъ въ это дѣло инженеровъ.

Провѣряя въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ устойчивость пути по тѣмъ или инымъ изъ имѣющихся до сихъ поръ формулъ, слѣдуетъ имѣть въ виду, что результатъ подсчета можетъ служить лишь однимъ изъ многихъ мотивовъ для той или иной окончательной оцѣнки пути.

I. Роль балласта, какъ элемента верхняго строенія пути.

§ 5. Отъ имѣющихся формулъ ожидаютъ всегда отвѣта на вопросъ о напряженіяхъ во всемъ пути, между тѣмъ онѣ въ лучшемъ случаѣ могли бы дать такіе отвѣты по отношенію къ отдѣльнымъ частямъ пути. Если можно говорить о напряженіяхъ, дѣйствующихъ во всемъ пути даннаго типа, то явилось бы самымъ правильнымъ искать тѣ предѣлы нагрузокъ колесъ и скоростей движенія, при которыхъ разстройство самыхъ слабыхъ частей даннаго пути отъ прохода поѣздовъ является до того ничтожнымъ, что мы съ увѣренностью можемъ говорить о томъ, что и при продолжительной работѣ всѣ части пути въ этихъ условіяхъ испытываютъ напряженія, не выходящія изъ предѣловъ допускаемыхъ упругостью для тѣхъ частей, матеріалъ которыхъ обладаетъ этими свойствами, или изъ предѣловъ возможности постояннымъ мелкимъ ремонтомъ возстановливать правильное взаимное расположение частей. Изученіе пути было бы сравнительно легкой задачей, если бы можно его разсматривать какъ болѣе или менѣе однородное упругое тѣло или хотя бы какъ нѣтъ тѣлъ, обладающихъ каждое опредѣленною упругостью. Между тѣмъ этого нѣтъ. Если мы можемъ считать рельсы, шпалы, а также вполне установившееся земляное полотно—обладающими вполне опредѣленными упругими свойствами и испытывающими при проходѣ состава лишь исчезающія деформации, то, въ дѣйствительныхъ границахъ усилій и осадокъ, — того же мы не можемъ сказать про балластъ, являющийся промежуточной частью, почти не имѣющей связи до прохода поѣзда ни съ рельсами, ни съ землей, —необладающей въ небольшихъ несплотненныхъ массахъ скольконибудь замѣтной упругостью, весьма неоднородный по составу и подвергающийся самымъ разнообразнымъ вліяніемъ: ударовъ колесъ, атмосферныхъ дѣятелей, случайностей укладки и подбивки и т. д.

Поэтому, если ставить задачей рациональнаго проектированія и ремонта верхняго строенія—назначеніе отдѣльныхъ частей его по качествамъ и размѣрамъ вполне соответствующихъ между собою для того, чтобы онѣ составляли, по возможности, однообразное цѣлое безъ излишняго запаса устойчивости въ одной части при недостаточности его въ другой,—необходимо обратить самое серьезное вниманіе на

Балластъ,
какъ самая
неустойчи-
вая часть
верхняго
строенія.

и аттестат
и аттестат
и аттестат

изученіе свойствъ балласта и найти возможность оцѣнивать его со-
отвѣтствіе съ прочими частями верхняго строенія пути. Недостаточная
прочность земляного полотна проявляется на давно построенныхъ
линіяхъ лишь въ исключительныхъ случаяхъ въ видѣ мѣстныхъ сдвиг-
говъ или пучинистыхъ мѣстъ, и всегда въ такихъ случаяхъ при-
нимаются мѣры къ устраненію этихъ недостатковъ или къ усиленной
охранѣ подобныхъ мѣстъ пути; несоотвѣтствующіе размѣрамъ дви-
женія типы или качества рельсовъ и шпаль даютъ о себѣ знать
непосредственно явнымъ разстройствомъ колеи, усиленнымъ лопаніемъ
рельсовъ, короткимъ срокомъ службы шпаль и т. д., несоотвѣтствіе
же качествъ и профиля балластного слоя отзывается скрытно на умень-
шеніи безопасности движенія, на увеличеніи расходовъ по содержанію
пути и на болѣе быстромъ изнашиваніи частей какъ пути, такъ и под-
вижного состава.

Въ заключеніе одной изъ своихъ статей, трактующихъ о же-
лѣзнодорожномъ пути (*Die Schwelle und ihr Lager. Organ 1898 г*)
Астъ указываетъ, что сравнительно съ другими элементами верхняго
строенія пути труднѣе всего усилить балластъ для приведенія въ
соотвѣтствіе съ возрастающими требованіями отъ движенія, такъ какъ
сопротивляемость его ограничена свойствами этого матеріала.

Къ условіямъ русской желѣзнодорожной жизни это особенно
примѣнимо, такъ какъ здѣсь, при дороговизнѣ щебня и недостаткѣ
хорошихъ крупныхъ песковъ съ малымъ количествомъ примѣсей глины
и невозможностью, за большими разстояніями, перевозки балласта
изъ карьеровъ съ матеріаломъ хорошаго качества, примѣняютъ мѣстные
пески, часто весьма неудовлетворительные. Чтобы выяснитъ возможность
и порядокъ усиленія верхняго строенія, надо основательно изучить
границы и свойства сопротивленія балластного слоя при различномъ
составѣ его.

Опредѣленіе
балласта и
главныя его
свойства.

§ 6. Балластъ является промежуточнымъ слоемъ, принимающимъ
давленіе отъ шпаль и передающимъ его земляному полотну, сверхъ того
балластъ служитъ для соединенія въ одно цѣлое всѣхъ шпаль, иначе
говоря, всего верхняго строенія, мѣшая ему передвигаться подъ влія-
ніемъ горизонтальныхъ усилій какъ боковыхъ, такъ и продольныхъ.
Такъ какъ прогибы шпаль весьма неодинаковы въ зависимости отъ
мѣста расположенія ихъ подъ осями поѣзда и мѣняются при передвиже-
ніи послѣдняго, то практически интересно знать среднія и предѣльныя
величины этихъ прогибовъ, а также предѣлъ, дальше котораго сжатіе
даннаго балласта уже не остается упругимъ во всей его величинѣ. Въ
теоріи верхняго строенія пути, разработанной Винклеромъ, Шведлеромъ,

Леве и наконецъ Циммерманомъ, обойдено болѣе подробное изученіе работы балластнаго слоя введеніемъ въ формулы коэффициента балласта, или точнѣе, коэффициента постели, характеризующаго большую или меньшую податливость всего, лежащаго ниже шпаль. Прежде чѣмъ рѣшить, на сколько можетъ одна цифра охарактеризовать всѣ свойства балласта, отъ которыхъ зависитъ устойчивость и прочность пути, необходимо ближе рассмотреть означенныя свойства. Балластный слой долженъ предохранять отъ поврежденій и размыванія верхнюю поверхность полотна, а потому онъ долженъ 1) не задерживать въ себѣ воду, т. е. состоятъ изъ водопроницаемаго, легко просыхающаго, значитъ, достаточно плотнаго и крупнаго матеріала (хряща, щебня или немелкаго песку, шлака и т. д.), неподвергающагося дѣйствию мороза и раздуванію вѣтромъ, 2) имѣть достаточную толщину для возможно равномернаго распредѣленія давленія отъ поѣзда на поверхность полотна и 3) самъ трудно повреждаться отъ ударовъ и истиранія.

Состоя изъ большого количества отдѣльных зеренъ, нагроможденных на значительную высоту, слой балласта является въ нѣкоторыхъ, сравнительно небольшихъ предѣлахъ упругимъ. Подъ значительнымъ давленіемъ слой сжимается какъ отъ сжатія отдѣльных зеренъ, такъ, главнымъ образомъ, отъ уменьшенія размѣровъ пустотъ между ними. Такъ какъ измѣненія размѣровъ тѣхъ пустотъ, размѣры которыхъ велики сравнительно съ зернами, не могутъ быть упругими, то упругость сыпучаго тѣла, каковымъ является балластъ, должна быть отнесена за счетъ упругости самаго матеріала песчинокъ и ихъ крупности сравнительно съ пустотами, а поэтому разница въ упругихъ свойствахъ разныхъ балластовъ можетъ обосновываться только разницей въ матеріалѣ, изъ котораго они состоятъ. Неупругое осѣданіе балласта, исправляемое отъ времени до времени подбивкой, зависитъ отъ формы и свойствъ зеренъ и отъ величины пустотъ между ними. Хотя кромѣ балласта являются упругими и рядомъ съ нимъ лежація части, какъ шпалы и самое земляное полотно, но, вообще, считается, что ихъ сжимаемость гораздо менѣе, чѣмъ балластнаго слоя, и послѣдній поэтому часто называютъ упругимъ фундаментомъ верхняго строенія.

Весьма интересно выяснитъ, въ какой мѣрѣ желательна эластичность желѣзнодорожнаго пути. Въ сколько нибудь значительной степени она безусловно плохо отзывается на расходахъ по эксплуатаціи дороги и на самомъ состояніи пути. Дѣйствительно, всего меньше сопротивленія движенію представляетъ гладкій, однородный, по возможности жесткій путь, такъ какъ всякіе прогибы поверхности рельсовъ способствуютъ развитію дополнительныхъ нагрузокъ отъ движущихся грузовъ, которыя приводятъ къ увеличенію сопротивленія

поѣзда движенію и къ разстройству пути въ разныхъ направленіяхъ. Съ другой стороны, при невозможности достигнуть расположенія всѣхъ опоръ рельсовъ, т. е. шпаль, строго на одномъ уровнѣ, при неизбѣжныхъ прогибахъ нагруженнаго рельса въ промежуткахъ между шпалами и при наличности такихъ слабыхъ мѣстъ пути, какими являются стыки рельсовъ, вполне жесткое устройство верхняго строенія являлось бы причиной систематическихъ ударовъ, претерпѣваемыхъ путемъ и приводящихъ къ изнашиванію какъ его частей, такъ и подвижного состава.

Величина
упругости
балластовъ.

§ 7. Разсмотримъ, какъ обыкновенно измѣряются упругія свойства балласта. Считая балластный слой состоящимъ изъ болѣе или менѣе однороднаго матеріала, полагаютъ, что онъ обладаетъ присущимъ всѣмъ однороднымъ тѣламъ качествомъ—упругости, т. е. до извѣстнаго предѣла напряженій (до извѣстнаго давленія отъ единицы площади подошвы шпаль) опусканіе поперечины въ балластъ вполне исчезаетъ по снятіи груза и находится въ прямомъ отношеніи къ давленію p на единицу площади балласта. Первый Винклеръ принялъ, что прогибъ $y = ap$, или $p \frac{kl}{cm^2} = \frac{1}{a} y = Cy$ см., гдѣ C есть постоянная величина, зависящая отъ свойствъ балласта, или коэффициентъ балласта. Если $y=1$, то $C=p$, т. е. коэффициентъ балласта выражаетъ давленіе отъ шпалы на кв. см., вызывающее пониженіе ея на 1 см. Такъ какъ опусканіе шпалы зависитъ не только отъ сжиманія балласта, но и отъ упругихъ свойствъ полотна (по опытамъ Васютинскаго полотно на глубинѣ 0,5 м. подъ рельсомъ опускается на 1,2 мм. и на глубинѣ 1,5 м. подъ рельсомъ можно отмѣтить опусканіе на 0,6 мм.), то неправильно называть выводимую изъ наблюденій цифру C коэффициентомъ балласта, а слѣдуетъ назвать коэффициентомъ постели (Bettungsziffer). Рядъ наблюденій за границей далъ результаты для значенія C отъ 2 до 9, въ среднемъ же для балласта изъ гравія $C=3$, а изъ щебня или гравія на слоѣ сухой кладки $C=8$ ¹⁾. Въ Россіи производилось мало наблюденій надъ прогибами балластнаго слоя (Стецевичъ на Тамбово-Саратовской и Балтійской желѣзной дорогѣ въ 1890—94 гг., Васютинскій на Варшаво-Вѣнсской желѣзной дорогѣ 1897 и 1898 г.). Въ среднемъ для русскихъ желѣзныхъ дорогъ принимаютъ коэффициентъ постели $C=4$; общіе расчеты верхняго строенія пути дѣлаютъ обыкновенно въ двухъ предположеніяхъ: $C=3$ и $C=8$. Васютинскій изъ

¹⁾ См. Стецевичъ. Объ устойчивости верхняго строенія пути; стр. 22.

своихъ опытовъ выводить, что собственно коэффициентъ балласта, который онъ называлъ K , для песка, смѣшаннаго съ крупнымъ гравіемъ, колеблется отъ 6,9 до 9,0, а для гранитнаго щебня отъ 4,6 до 6,5. Нагрузку, подъ которой способна опуститься на 1 см. единица площади полотна, онъ называлъ N (коэффициентъ полотна). Подъ единицею груза площадка балласта опустилась бы при несжимаемомъ полотнѣ на $\frac{1}{K}$, а площадка полотна опустится на $\frac{1}{N}$, уменьшенное въ отношеніи площади полотна, получившей давленіе отъ шпалы, къ площади постели шпалы, т. е. опустится на $\frac{1}{nN}$, гдѣ n равно приблизительно $\frac{a}{b}$ (a разстояніе между шпалами, b ширина ихъ нижнихъ постелей).

Можно написать $\frac{1}{C} = \frac{1}{K} + \frac{1}{nN}$. Эта формула даетъ возможность по выведенному изъ опытовъ коэффициенту постели C найти, если нужно, коэффициентъ балласта. N найдется, если на томъ же полотнѣ испытать послѣдовательно путь при двухъ балластахъ, для которыхъ K извѣстны. По испытаніямъ, которыя дѣлалъ Васютынский, получалось опусканіе поверхности полотна въ 3—4 раза меньше опусканія подшвы шпаль, т. е. N около 5. Значеніе K въ его опытахъ колебалось отъ 5,5 до 8.

Сравнивая значенія K для песка и щебня, полученные по опытамъ Васютынскаго, видимъ, что у перваго, который безусловно хуже не только въ смыслѣ большихъ затратъ работы при постоянномъ ремонтѣ, но и въ смыслѣ устойчивости пути, коэффициентъ балласта почти въ $1\frac{1}{2}$ раза больше. Вообще Васютынский приходитъ къ такому заключенію, что коэффициентъ балласта колеблется въ весьма ограниченныхъ предѣлахъ и часто его величина не совпадаетъ съ общимъ характеромъ главныхъ качествъ балласта какъ части верхняго строенія, такъ что вообще нельзя говорить объ улучшеніи послѣдняго вмѣстѣ съ повышеніемъ балласта. При этомъ онъ указываетъ, что этотъ коэффициентъ измѣняется не только въ зависимости отъ качествъ балласта, но также отъ расположенія шпалъ и типа рельсовъ. По тому же вопросу находимъ указаніе въ докладѣ Л. О. Николаи Инженерному Совѣту 1898 г. (Журналъ № 153). Тамъ сказано: „При докладѣ о приспособленіи верхняго строенія Московско-Виндавской желѣзной дороги къ пропуску тяжелыхъ паровозовъ съ нагрузкою на ось въ 14,5 тоннъ было выяснено, что на значеніе коэффициента C , что крайне выгодно въ отношеніи работы матеріала въ рельсѣ, вліяетъ достаточная твердость грунта полотна, хорошее качество балласта и достаточная ширина его“.

Замѣчательно, что по болѣе давнимъ наблюденіямъ выходили колебанія значенія C гораздо большія, чѣмъ у ближайшихъ къ намъ по времени наблюдателей.

Такъ, на основаніи первоначальныхъ, весьма приблизительныхъ опредѣленій величины C по опытамъ Вебера, таковая колебалась въ предѣлахъ отъ 4 до 45, но Лева и другіе инженеры принимали при расчетахъ 12—16, а уже послѣ опытовъ Гентшеля эти величины установлены въ 3,5 и 8. Стецевичъ получилъ (не принимая во вниманіе случаевъ исключительной неподатливости шпаль) почти тѣ же величины какъ у Гентшеля: $3\frac{1}{2}$; 5 и $9\frac{\text{кл}}{\text{см}^2}$. Васютинскій наблюдалъ балласты въ одномъ мѣстѣ и при хорошихъ условіяхъ получилъ значенія $5\frac{1}{2}$; 8; прибавляя 3 для плохихъ сортовъ балласта, получимъ тѣ же цифры, что въ предыдущемъ случаѣ.

Коэффициентъ податливости балластного слоя C_0 .

§ 8. Думается, что суженіе предѣловъ колебанія значенія C объясняется тѣмъ, что при болѣе рачительно поставленныхъ опытахъ стараются объяснить возможно полнѣе вліяніе главныхъ факторовъ, дѣйствующихъ на путь, и позднѣйшіе наблюдатели исключали многіе факторы, кажущіеся второстепенными, но въ своей сложности имѣющіе большое значеніе. Отсюда никоимъ образомъ не слѣдуетъ, что предѣлы измѣненія значенія коэффициента балласта при упругихъ его колебаніяхъ и при нормальныхъ условіяхъ большіе, чѣмъ установлено считать въ послѣднее время (3—8). Наоборотъ, кажется несомнѣннымъ, что предѣлы эти, въ разсужденіи только упругихъ колебаній балласта, значительно менѣе, абсолютныя же величины C , быть можетъ, вмѣсто 3—8 должны выражаться цифрами 15—40. Но дѣло въ томъ, что упругія колебанія являются только частью формоизмѣненій балластного слоя подъ вліяніемъ нагрузки; наблюдая же опусканіе шпаль въ разныхъ точкахъ пути и при разныхъ условіяхъ, мы, навѣрное, должны получить большія разницы въ вычисленныхъ по этимъ наблюденіямъ значеніяхъ коэффициента пропорціональности полныхъ опусканій — нагрузкѣ. Этотъ коэффициентъ, который назовемъ $\alpha_0 = \frac{1}{C_0}$, состоитъ изъ двухъ частей: $\alpha = \frac{1}{C}$, соответствующей упругости части опусканія, и $\alpha_1 = \frac{1}{C_1}$, отвѣчающей постоянной деформаци. Собственно $C = \frac{C_0 \cdot C_1}{C_1 - C_0}$. Назовемъ C_0 коэффициентомъ податливости балластного слоя. Васютинскій въ своемъ отчетѣ о наблюденіяхъ 1898 г. говоритъ, что на Балтійской дорогѣ Стецевичъ наблюдалъ, что нѣкоторые шпалы такъ мало опускались подъ дѣйствіемъ колесъ паровоза, что коэффициентъ постели получался $C = 45$. Васютинскій считаетъ такую цифру невѣроятной.

Между тѣмъ намъ кажется рискованнымъ для возможности выясненія отбрасывать тѣ или иные наблюденія, потому только, что онѣ не даютъ цифръ, подтверждающихъ принятую теорію. Можно объяснить, что наблюденное въ указанномъ случаѣ C_0 дѣйствительно близко къ 45, и, признавая, что здѣсь, точно также какъ въ другихъ случаяхъ, C не могло быть больше, положимъ 8—9, заключаемъ, что значеніе C_0 получилось такое большое потому, что шпалы были въ такихъ условіяхъ, что постоянныя деформаціи почти отсутствовали, чего въ большинствѣ случаевъ не бываетъ.

Шубертъ въ своихъ опытныхъ ящикахъ наблюдалъ, что при отсырѣвшемъ балластѣ шпалы опускались при давленіи 3,3 кл. на 1 кв. см., тогда какъ до поливки насыпи водою тоже опусканіе шпалъ наблюдалось при давленіи 6,44 кл.¹⁾ Это обнаруживаетъ, какое вліяніе можетъ имѣть на значеніе C_0 то или иное состояніе балластнаго слоя и полотна, случайныя измѣненія въ нихъ и т. д. Поэтому, считая при данномъ балластѣ C постояннымъ, мы должны изъ продолжительныхъ наблюденій надъ даннымъ участкомъ пути установить границы, въ которыхъ можетъ колебаться на этомъ участкѣ C_0 , и при расчетѣ прочности пути, если задаемся цѣлью гарантировать въ высокой степени безопасность движенія и не рассчитываемъ въ данномъ мѣстѣ на тщательный досмотръ и уходъ за путемъ, мы должны вводить въ расчетъ невыгоднѣйшій предѣлъ для C_0 .

II. Требованія, предъявляемыя къ балластамъ и ихъ выполненіе.

§ 9. Изъ предыдущаго приходимъ къ выводу, что одно значеніе Свойства балласта, вліяющія на устойчивость пути, его прочность и на значеніе C_0 . коэффициента, характеризующаго упругія свойства балласта, т. е. значеніе одного C , не даетъ точнаго понятія о балластѣ какъ составной части пути, т. к. устойчивость, а особенно прочность послѣдняго, зависитъ отъ состоянія балласта, находящагося въ непосредственной связи съ такими его качествами, какъ напр. водопроницаемость, однородность частицъ и т. д., а также состоянія полотна, которое въ свою очередь зависитъ въ значительной степени отъ качествъ и толщины балластнаго слоя. По опытамъ Шуберта вышло, что при толщинѣ балластнаго слоя, равной разстоянію между сосѣдними шпалами + 0,20 м., полотно не претерпѣваетъ никакихъ измѣненій подъ вліяніемъ движенія поѣздовъ. Поэтому изученіе балластовъ не слѣдуетъ ограничивать раз-

¹⁾ Желѣзнодорожное дѣло, 1893 г. стр. 152; Zeitschr. für Bauwes. 1891.

смотрѣніемъ коэффиціента упругихъ осѣданій его, но самое серьезное вниманіе обратить на тѣ качества, которыя необходимо требовать отъ каждаго балласта и степень обладанія которыми характеризуетъ большую или меньшую пригодность даннаго балласта. Поэтому эта степень должна быть выражена или какими либо точными словесными опредѣленіями, или цифровыми коэффиціентами. При этомъ необходимо замѣтить, что устойчивость балластнаго слоя весьма трудно разсматривать отдѣльно отъ условій прочности его, такъ какъ вертикальныя движенія шпаль, какъ бы они малы ни были и въ какой бы большой степени деформациі ни оказались упругими, черезъ нѣкоторый промежутокъ времени разстраиваютъ подбивку и измельчаютъ балластъ. Чѣмъ устойчивѣе балластный слой, т. е. чѣмъ меньшая остающаяся деформациа имѣетъ мѣсто отъ самыхъ большихъ усилій подвижного состава, тѣмъ спокойнѣе движеніе поѣздовъ и тѣмъ меньше расходъ на ремонтъ пути. Благодаря частой повторяемости осѣданія балласта, значительнымъ горизонтальнымъ усиліямъ, появляющимся въ немъ при движеніи поѣздовъ, а также благодаря тренію подошвъ шпаль о балластъ, не можетъ не разстраиваться самый устойчивый балластный слой. При этомъ есть цѣлый рядъ способствующихъ этому разстройству факторовъ, изъ которыхъ многіе зависятъ отъ поперечнаго профиля балластнаго слоя.

Съ профиля, т. е., собственно говоря, толщины балластнаго слоя мы и начнемъ разсмотрѣніе главныхъ свойствъ балласта.

Уже помимо того, что толщина слоя балласта не безразлична сама по себѣ, но даже и значеніе C должно отъ нея зависѣть. Для установленія коэффиціента упругости (C) деформациа (y) должна быть взята для опредѣленнаго размѣра тѣла въ направленіи усилія, но обыкновенно измѣряютъ это сжатіе для всего балластнаго слоя, считая, что въ тѣхъ предѣлахъ, въ какихъ фактически измѣняется толщина слоя балласта, общее его сжатіе почти не зависитъ отъ этой толщины. Если дѣлаются расчеты для сравнительной оцѣнки качествъ пути линій, находящихся приблизительно въ одинаковыхъ условіяхъ, и, во всякомъ случаѣ, для линій того же типа въ данной странѣ, вполне возможно не считаться съ вліяніемъ высоты балластнаго слоя на величину коэффиціента постели, такъ какъ законъ распредѣленія сжатія балласта по высотѣ слоя неизвѣстенъ, колебанія толщины балластнаго слоя не бываютъ велики и кромѣ того всегда расчеты устойчивости пути дѣлаются для среднихъ условій какого либо участка пути, а не для опредѣленной точки, слѣдовательно нельзя принимать во вниманіе незначительныхъ разницъ въ высотѣ балластнаго слоя.

§ 10. Вообще желательно, чтобы высота балластного слоя была близка къ 35 см. подъ низомъ шпаль, потому что при такомъ размѣрѣ давленіе отъ шпаль распространяется достаточно равномерно по полотну. По Техническимъ Условіямъ М-ва П. С. для проектированія магистралей въ Россіи требуется глубина балласта 53 см. (0,25 сж.) подъ подошвой рельса, т. е. 38 см. (0,18 сж.) подъ подошвой шпаль. По наблюденіямъ Шуберта всякія деформации полотна, напр. появленіе такъ называемыхъ корытъ, даже при самомъ северномъ грунтѣ прекращается, если толщина балластного слоя подъ шпалой равна разстоянію въ свѣту между шпалами + 20 см., т. е. около 80 см., но обыкновенно берутъ 20—30 см. Если считать откосъ распространенія давленія въ балластномъ слоѣ равнымъ $\frac{1}{2}$, основанія на высоту, то понадобилось бы, собственно говоря, вдвое бѣльшая толщина. На самомъ дѣлѣ на большинствѣ русскихъ дорогъ толщина балласта значительно меньше и составляетъ около 17 см. подъ подошвой шпалы. На заграничныхъ дорогахъ наименьшая толщина балласта подъ шпалами принимается 20 см.

Толщина
балластного
слоя и шири-
на его.

Весьма многія наблюденія, а также произведенные Шубертомъ опыты въ пробныхъ ящикахъ указываютъ, что главной причиной образованія обваловъ и осѣданія давно построенныхъ насыпей служатъ тѣ корытообразныя углубленія¹⁾, которыя происходятъ въ полотнѣ отъ давленія поѣздовъ. Въ этихъ углубленіяхъ задерживается вода, вслѣдствіе чего и грунтъ насыпи размокаетъ, дѣлается неустойчивымъ и способнымъ къ большей осадкѣ. Для подъемки слишкомъ много осѣвшего пути требуется слишкомъ большое количество балласта, который, дѣйствуя какъ клинъ, распираетъ бока насыпи и, въ присутствіи скопившейся въ углубленіи влаги, вызываетъ обвалы откосовъ. Конечно, балластные корыта не принимаютъ формы правильныхъ углубленій, но они являются проводниками воды въ полотно и въ этомъ смыслѣ ихъ можно сравнивать съ клиньями.

XIV (въ 1897 г.) Совѣтательный Совѣтъ Инженеровъ Службы Пути призналъ, что для обезпеченія равномерной передачи давленія на полотно и, слѣдовательно, предохраненія его отъ начала образованія балластныхъ корытъ толщина балласта должна быть не менѣе 0,20 саж. подъ подошвой шпаль при наилучшихъ условіяхъ грунта; при этомъ должна быть придаваема такая форма поперечному сѣченію

¹⁾ Волобуевъ (Обвалы и исправленіе насыпей, 1906 г., а также замѣтка въ Извѣст. Собр. Инж. П. С., апрѣль 1907 г.) называетъ эти углубленія не балластными корытами, а «естественными балластными дренажами», получаемыми отъ вбиванія частицъ балласта въ полотно.

полотна, которая соотвѣтствовала бы возможно лучшему стоку воды, просачивающейся сквозь балластъ. Подробнѣе объ этомъ постановленіи изложено въ части настоящаго очерка, касающейся фактическаго состоянія балластнаго слоя на русскихъ желѣзныхъ дорогахъ.

Достаточная высота балласта имѣетъ еще другое важное значеніе—предупрежденіе и во всякомъ случаѣ,—даже въ очень суровыхъ климатахъ и при быстрыхъ переходахъ отъ тепла къ холоду,—уменьшеніе пучинъ.

Чѣмъ выше качество балласта и благопріятнѣе условія грунта, тѣмъ меньше можетъ быть толщина балласта. Практика указываетъ, что излишняя толщина балластнаго слоя не приноситъ пользы. Условія для опредѣленія толщины балласта, исходя изъ предѣльнаго давленія на полотно, Л. Ө. Николаи¹⁾ беретъ слѣдующія: чтобы давленіе, переданное отъ подошвы шпалы на полотно, не превосходило 1,5 кл./см.² (0,6 пд./дм.²), причемъ въ песчаномъ балластѣ берется половинный уклонъ распределенія давленія, а въ балластѣ изъ мелкаго щебня или крупнаго гравія—одиночный. Астъ установилъ предѣлъ давленія на полотно 2 кл. на см.², но на Лондонскомъ конгрессѣ были приведены данныя, что на большинствѣ дорогъ это давленіе не превышаетъ 1,32 кл. на см.². Конечно подобные расчеты являются условными. Все зависитъ отъ того, какую перегрузку условимся считать отъ динамическаго дѣйствія. Полагаютъ для простоты расчета, что давленіе оси воспринимается одной шпалой.

Для мгновенной устойчивости слоя необходимо, чтобы балластъ не былъ въ состояніи выдавливаться изъ подъ шпаль. Чѣмъ глубже лежатъ шпалы въ балластѣ, тѣмъ устойчивѣе путь, такъ какъ тѣмъ больше тѣ призмы отпора съ боковъ шпаль, которыя должны быть сдвинуты для того, чтобы шпалы подались внизъ. Какъ видимъ, болѣе глубокое залеганіе подошвъ шпаль полезно въ смыслѣ противодѣйствія не только горизонтальнымъ, но и вертикальнымъ силамъ. Заграницей на дорогахъ съ большой скоростью движенія по большей части засыпаютъ шпалы балластомъ почти до высоты головки рельсовъ, ограничивая его верхъ между рельсами выпуклой поверхностью. Обычный въ Россіи профиль балласта удовлетворяетъ требованіямъ устойчивости, благодаря сравнительно небольшой скорости поѣздовъ.

При опредѣленіи достаточной толщины балластнаго слоя нельзя руководствоваться теоретическими расчетами, подобными расчетамъ устойчивости, дѣлаемымъ при проектированіи основаній въ песчаномъ

¹⁾ Докладъ Инженерному Совѣту 1898 г.

грунтѣ. Дѣйствительно, попробуемъ сдѣлать подобный подсчетъ и увидимъ, что необходимыя размѣры получаются далекіе отъ тѣхъ, какіе выработала практика желѣзнодорожнаго строительства. Ищемъ сначала, на какой глубинѣ отъ верхней поверхности балласта должны находиться подошвы шпаль для того, чтобы ихъ положеніе было устойчиво, т. е. чтобы не могло произойти опусканіе ихъ глубже въ песокъ, сопряженное съ выпираніемъ въ бока призмъ песчанаго основанія. Разсматривая шпалу какъ нагруженный фундаментъ, на единицу площади котораго приходится давленіе

$$N = \frac{P}{bl},$$

гдѣ черезъ P назовемъ давленіе отъ колеса паровоза, b ширину шпалы и l полудлину ея, примѣнимъ для расчета глубины основанія h формулу Ренкина-Паукера:

$$h \geq h' tg^4 \left(\frac{90 - \varphi}{2} \right),$$

въ которой h' есть высота столба песку, замѣняющаго нагруженную шпалу, и равная $\frac{N}{\gamma} = \frac{P}{bl\gamma}$, гдѣ l обыкновенно равно $\frac{2,70}{2}$ метр., $b = 0,25$ м. и γ вѣсъ кубической единицы песку, около 1640 к. въ куб. метрѣ. Принявъ $P = 7000$ к. и $\varphi = 35^\circ$, получимъ $h \geq 0,92$ м. При $P = 10000$ к. — h около 1,32 м. Согласившись даже, что формула Ренкина-Паукера даетъ запасъ устойчивости вдвое большій, чѣмъ нужно, имѣемъ необходимую глубину верхняго балласта 0,46 м., т. е. 0,21 саж., между тѣмъ какъ, еслибы при обычной толщинѣ шпалы около 0,15 м. мы насыпали балластъ до самой головки рельса, то все таки получили бы слой верхняго балласта не больше какъ 0,28—0,30 см. Рациональной съ теоретической точки зрѣнія толщиной нижняго балласта, т. е. глубиной отъ подошвы шпалы до поверхности полотна будетъ та, при которой между шпалами не находится промежутковъ на поверхности полотна, на которое не распространяется давленіе, передаваемое отъ шпаль, нагруженныхъ сосѣдними колесами паровоза. Глубина k , при тангенсѣ n угла распространенія давленія найдется въ зависимости отъ разстоянія между колесами паровоза ($d = 1,3$ м.) и ширины подошвы шпаль ($b = 0,25$ м.) изъ формулы $d - b = 2 nk$, или $1,05 = 2 nk$, откуда, положивъ $n = 0,7$, имѣемъ $k = 0,74$ м. ∞ 0,34 сж., а положивъ $n = 1$, имѣемъ $k = 0,52$ м. ∞ 0,24 сж. При этомъ давленіе на кв. см. подошвы шпалы, равное примѣрно $\frac{7000}{155 \times 25} = 2,1$ к., пере-

дается на полотно въ видѣ давленія $\frac{7000}{(135+52) \cdot (25+104)} = 0,3$, т. е. въ 7 разъ меньшаго. При расчетѣ на колесо въ 10 тоннъ, при разстояніи 1,5 м. k значительно больше.

Соотвѣтственно такой большой толщинѣ балластнаго слоя опредѣлилась бы и ширина полотна одиночнаго пути не менѣе, какъ въ 4 сажени.

На самомъ дѣлѣ довольствуются слоемъ верхняго балласта въ 0,15—0,25 м. и слоемъ нижняго 0,20—0,30 м., т. е. практика указываетъ, что нѣтъ необходимости для обезпеченія безопасности движенія прибѣгать къ непомѣрнымъ затратамъ, стремясь достигнуть указанныхъ выше цифръ.

Это доказываетъ, что предположеніе о томъ, что давленіе оси принимается всецѣло одной шпалой, невѣрно. Это предположеніе дѣлается въ виду того, что динамическое дѣйствіе нагрузки опредѣляютъ равнымъ $2 - 2\frac{1}{2}$ статическимъ нагрузкамъ. Приведенный расчетъ доказываетъ невѣрность послѣдняго. Поэтому для опредѣленія давленія на поверхность полотна и для опредѣленія достаточной глубины залеганія шпаль въ балластѣ вполне можно довольствоваться значеніями нагрузки статической съ небольшою надбавкой.

□ Такъ какъ состояніе пути, тѣмъ лучше, чѣмъ полнѣе балластный слой, то предлагаемъ ввести показатель толщины этого слоя въ общую цифру, характеризующую балластъ въ смыслѣ его вліянія на устойчивость пути. Цифра эта тѣмъ больше, чѣмъ меньше придется вычитать изъ числа, характеризующаго балластъ, какъ вполне упругое тѣло. Если этой цифрой условимся принять C_0 , о которомъ говорилось выше, то пусть C_0 будетъ считаться у того балластнаго слоя больше, котораго толщина больше. Принявъ этотъ методъ и по отношенію иныхъ свойствъ балласта, — какъ его водопроницаемости, малой повреждаемости слоя водой и вѣтромъ, крѣпости породъ его составляющихъ, величинѣ коэффициентовъ тренія и сцепленія и т. д., придемъ къ способу опредѣленія значенія C_0 по системѣ, такъ сказать, балловъ. Хотя весьма трудно установить приемы назначенія этихъ балловъ вполне научные и исключаютъ субъективную точку зрѣнія, но едва ли это можетъ служить большимъ препятствіемъ къ тому, чтобы, если не установить, то по крайней мѣрѣ испробовать подобный методъ въ такомъ сложномъ вопросѣ, какъ опредѣленіе одной цифры, характеризующей балластъ, которую можно было бы вставлять въ формулы, предназначенныя для вычисленія, конечно лишь приблизительнаго, запасовъ устойчивости и прочности даннаго пути.

Можно условиться вводить въ значеніе C_0 въ качествѣ одного изъ слагаемыхъ цифру, соответствующую дециметрамъ толщины слоя, считая ниже подошвы шпаль.

Что касается ширины балластного слоя, то ее берутъ обыкновенно въ Россіи для дорогъ нормальной одиночной колеи въ 1,45 сж. ∞ 3,10 м., за границей 3,30—3,60 метра.

Чѣмъ большая ширина слоя, т. е. чѣмъ больше обсыпаны торцы шпаль балластомъ, тѣмъ лучше верхнее строеніе сопротивляется боковымъ усиліямъ, стремящимся сдвинуть путь въ сторону. Такъ какъ уширеніе балластного слоя ведетъ къ уширенію и полотна, что сопряжено съ большими расходами, ограничиваются тѣмъ, что придаютъ балластному слою такую ширину, чтобы торцы шпаль съ каждой стороны были обсыпаны не менѣе, чѣмъ на 1 дециметръ. Кажется правильнымъ, въ случаѣ если эта обсыпка увеличена, на всякій дециметръ увеличенія обсыпки съ одного бока шпалы прибавлять въ видѣ балла единицу къ коэффициенту C_0 . Точно также надо прибавить къ коэффициенту C_0 нѣсколько балловъ, если длину шпаль увеличимъ на одинъ или нѣсколько дециметровъ противъ нормальной, которую будемъ считать 2,7 м., и также C_0 надо уменьшить, если шпалы будутъ короче нормальныхъ. Понятно, что длина шпалы и соответствующая ей ширина балластного слоя весьма сильно вліяетъ на его состояніе и движеніе частицъ въ немъ.

§ 11. На всѣхъ дорогахъ должно быть обращено весьма серьезное вниманіе на осушеніе основнаго балластного слоя помощью соответственной обдѣлки поверхности земляного полотна или помощью дренарованія (напр. каменной выстилкой) низа балласта, а также на то, чтобы самая поверхность полотна была безусловно водонепроницаема. Исполненіе этого ставитъ балластъ въ значительно лучшія условія, а поэтому, казалось бы, въ случаяхъ, когда поверхность полотна находится въ благоустроенномъ состояніи, надлежало бы къ коэффициенту C_0 прибавлять 1—3, напр., въ случаѣ правильной обдѣлки (со скатами) прибавлять 1, если верхъ полотна дренарованъ,—2 и, если онъ вполне водонепроницаемъ,—3. XIV Съѣздъ Инженеровъ Сл. Пути рекомендовалъ для лучшаго стока воды по поверхности полотна дѣлать въ поперечномъ профилѣ полотна скосы съ уклономъ 0,1—0,2 отъ линіи подошвы вѣшнихъ концовъ шпаль. Въ случаѣ примѣненія подобной формы полотна, притомъ когда мы увѣрены, что балластныхъ корытъ нѣтъ, правильная проектная выпуклая форма полотна (съ горбылемъ) сохранена подъ балластомъ, бермы около балластного слоя не выросли и болѣе или менѣе быстрый отводъ водъ отъ балластного

Осушеніе
верхней по-
верхности
балласта.

слоя подь откосы обезпеченъ,—слѣдовало бы прибавлять къ значенію C_0 отъ 1 до 5. По большей части бываетъ такъ, что при первоначальной укладкѣ пути совсѣмъ безъ балласта или на очень тонкомъ его слоѣ поверхность полотна принимаетъ весьма неправильную форму, образуются бугры и ямы, о горбылѣ и помину нѣтъ, кое гдѣ появляются балластные корыта, и только послѣдующія добавленія высоты балластного слоя предотвращаютъ разстройство пути и даже обвалы. Въ свое время на иныхъ линіяхъ, въ виду инспекціонныхъ объѣздовъ, въ мѣстахъ, гдѣ толщина балластного слоя была слишкомъ мала, практиковалось дѣлать срѣзки бермочекъ полотна для того, чтобы профиль балласта казался полнымъ. Если бы этой манипуляціей не преслѣдовалась цѣль изобразить недостаточный по толщинѣ балластный слой—достаточнымъ, то сама по себѣ мѣра эта можетъ только заслужить одобреніе. Американцы примѣняютъ иной способъ для болѣе полного отвода воды отъ балластного слоя. Они въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ балластъ среднего качества или прямо плохъ (иногда они примѣняютъ даже не песокъ, а песчанную землю), придаютъ наружной поверхности самага балластного слоя выпуклую форму, такъ что торцы шпаль остаются цѣликомъ или отчасти неприкрытыми. Намъ кажется мѣра эта весьма раціональной и заслуживающей примѣненія во многихъ мѣстахъ въ Россіи, гдѣ мелкій песокъ, служащій балластомъ, чаще всего не прикрытъ болѣе крупнымъ матеріаломъ. Подобнаго рода наружное очертаніе не допускаетъ такого разстройства формы балластного слоя при ливняхъ, даетъ возможность попадающей на балластъ водѣ въ значительной части скатиться съ его поверхности и способствуетъ скорѣйшему просыханію шпаль. Поэтому, казалось бы, въ случаѣ примѣненія подобнаго профиля, правильнымъ увеличивать на 1—2 значеніе коэффициента C_0 .

Водопроницаемость и однообразіе въ крупности частицъ балласта.

§ 12. На томъ участкѣ пути, который разсматривается въ смыслѣ его годности для тѣхъ или иныхъ поѣздовъ, балластъ всюду долженъ быть однихъ и тѣхъ же качествъ, иначе надо будетъ считать, что качество его на всей длинѣ участка такое, какъ въ мѣстахъ съ самымъ плохимъ балластомъ.

Однимъ изъ главныхъ требованій, предъявляемыхъ къ балласту, является его водопроницаемость, зависящая отъ достаточной крупности и однородности зеренъ и отсутствія сколько нибудь значительной примѣси глины. Роль хорошаго балласта состоитъ въ томъ, чтобы не давать размокать полотну, не задерживать просыханія шпаль и самому быть мокрымъ какъ можно болѣе короткій срокъ. Уже указывалось выше, что мокрый балластъ обладаетъ меньшимъ сцѣпленіемъ,

слѣдовательно хуже сопротивляется боковымъ сдвигамъ и даже вертикальное осѣданіе его больше. Полотно размокаетъ весьма трудно, но если балласть сохраняетъ влагу въ теченіе долгихъ періодовъ, полотно подъ ея вліяніемъ дѣлается менѣе прочно и сопротивление грунта, его составляющаго, значительно уменьшается, а слѣдовательно дѣлается болѣе возможнымъ появленіе балластныхъ корытъ, неравномѣрная подбивка шпаль, малая прочность этой подбивки и т. д. Есть балласты, которые послѣ высыханія остаются такими же сыпучими, какъ были до смачиванія, а есть такіе, которые по высыханіи даютъ болѣе или менѣе плотную или даже хрупкую массу. Это наблюдается у балластовъ, содержащихъ много глины и вообще мелкихъ частицъ. Если балласть неоднороденъ по крупности зерна и въ промежуткахъ между крупными его частями образуются послѣ промоканія его подобные комья, это способствуетъ задерживанію въ слоѣ влаги. Вообще удостовѣрено, что водопроницаемость обратно пропорціональна содержанію въ балластѣ глины, а также увеличивается съ крупностью и, главное, однообразіемъ зеренъ, его составляющихъ. Если въ балластѣ примѣсь глины очень значительна (напр. 20% и болѣе), то вода въ немъ задерживается и глина забухаетъ, а зимой пучится. Изъ опытовъ, произведенныхъ въ 1906 году въ механической лабораторіи Томскаго Технологическаго Института надъ образцами изъ 14 балластныхъ карьеровъ¹⁾, явствуетъ, что тѣ балласты хуже и менѣе упруги, которые менѣе однородны по крупности зерна. Считая, что главными составными частями всякаго песчаннаго балластнаго матеріала является галька, гравій и песокъ, признаемъ, что тѣмъ балластамъ, которые состоятъ главнымъ образомъ изъ гальки (или щебня) и въ которыхъ примѣсь гравія и песку меньше 10%, къ значенію коэффициента C_0 слѣдуетъ добавлять, положимъ, 5, уменьшая эту цифру на 1 при увеличеніи примѣси на 10 процентовъ. Для балластовъ, состоящихъ преимущественно изъ гравія (считаемъ за гравій—начиная отъ крупности зерна 5 см. и кончая 1 мм., и песокъ отъ одного мм. до 0,2 мм.), прибавляемъ къ значенію C_0 1 въ томъ случаѣ, если преобладающій элементъ входитъ въ смѣсь въ количествѣ не менѣе 80% и еще одну единицу въ случаѣ, если средняя крупность песку, отдѣльно взятаго, на меньше $\frac{1}{2}$ мм. При содержаніи значительной примѣси глины слѣдуетъ C_0 уменьшить тѣмъ больше, чѣмъ выше содержаніе глины, напр. при содержаніи до 10% на 1, до

¹⁾ Подробнѣе описаны эти опыты въ главѣ о физическихъ и механическихъ свойствахъ балластовъ.

15% на 2, до 17% на 3, при 19% на 4, при 20% на 5 и т. д. Если балласть довольно однородной крупности и не содержитъ большой [примѣси] глины, сама по себѣ абсолютная величина крупности не играетъ большой роли, такъ что увеличивать значеніе C_0 вмѣстѣ со средней крупностью зерна на представляется нужнымъ. Скрытымъ образомъ діаметръ зерна отразится на означенномъ коэффициентѣ, т. е. увеличивается водопровицаемость, сцепленіе и треніе въ балластѣ. Если балласть изъ щебня [или одной крупной гальки, то увеличеніе C_0 мы условились дѣлать, но надо замѣтить, что крупность щебня для балласта не должна быть слишкомъ велика—не больше $2-2\frac{1}{2}$ ". Слѣдуетъ, въ случаѣ слишкомъ крупно колотаго щебеночнаго балласта, уменьшить значеніе C_0 на 1 или 2. Подробнѣе остановимся на наиболѣе соотвѣтственной крупности щебенки въ главахъ о балластахъ на заграничныхъ дорогахъ.

Устойчивость
балласта от-
носительно
горизонталь-
ныхъ усилій.

§ 13. Остановимся на той сторонѣ работы балластнаго слоя, на которую обыкновенно мало обращаютъ вниманія,—именно на его сопротивленіе боковымъ усиліямъ, дѣйствующимъ на рельсы, а черезъ нихъ на все верхнее строеніе.

Неопровержимымъ является, что забалластрированный путь разстраи-
вается мѣтѣ, чѣмъ уложенный на полотно безъ балласта. Деформаціи балластнаго слоя и вообще пути въ вертикальномъ направленіи являются результатомъ статическаго дѣйствія нагрузокъ. Намъ кажется, что осѣданія весьма мало увеличиваются съ увеличеніемъ скорости движенія по пути тѣхъ же грузовъ. Относительно деформаций въ горизонтальномъ направленіи—обратное,—онѣ замѣтно увеличиваются съ возрастаніемъ скоростей движенія. Поэтому для рѣшенія вопроса о допущеніи тѣхъ или другихъ скоростей весьма важно изслѣдовать сопротивленіе балластовъ горизонтальнымъ усиліямъ.

Боковое сопротивленіе ненагруженнаго балластнаго слоя невелико. По опытамъ, произведеннымъ на французскихъ желѣзныхъ дорогахъ, для того, чтобы сдвинуть вбокъ на нѣсколько сантиметровъ путь, надо 7 тоннъ, если путь забалластрированъ, но ненагруженъ подвижнымъ составомъ. Изъ опытовъ произведенныхъ Веберомъ ¹⁾, оказывается, что при боковомъ усиліи 1,5—2,5 тоннъ уже нарушается связь между шпалой и балластомъ. Ширина балластнаго слоя имѣетъ для его устойчивости небольшое значеніе. Важно, чтобы балласть обладалъ возможно большимъ треніемъ, при этомъ, конечно, полезны болѣе значительные

¹⁾ Ast. Beziehungen zwischen Gleis und rollendem Materiale.

размѣры шпаль, а также крѣпость матеріала, составляющаго балласть, и стойкость его по отношенію атмосферныхъ дѣятелей. Для того, чтобы сдвинуть путь нагруженный подвижнымъ составомъ, надо усиліе весьма большое; его оцѣниваютъ приблизительно въ 20 тоннъ, боковое же дѣйствіе колеса на рельсы оцѣниваютъ въ $\frac{1}{3}$ его давленія, т. е. 2,5-тоннъ ¹⁾. Слѣдовательно устойчивость пути въ направленіи перпендикулярномъ его оси является какъ бы обезпеченной. Но дѣло въ томъ, что передвиженіе паровоза вбокъ нѣсколько увлекаетъ и части пути, лежащія впереди первой его оси. Ясно, что переходъ отъ состоянія, при которомъ путь можетъ быть сдвинутъ въ сторону усиліемъ всего какія нибудь 2 тонны, къ тому состоянію, когда онъ, будучи придавленъ колесами, представляется весьма устойчивымъ на сдвигъ, не можетъ совершаться сразу, а въ этотъ моментъ въ предѣлахъ балласта уже развиваются болѣе значительныя боковыя усилія. Поэтому всѣ мѣры, заключающіяся въ томъ, чтобы увеличить сопротивленіе пути боковому сдвигу, весьма полезны. Прежде всего слѣдуетъ стараться получить балластъ обладающій большимъ сдѣпленіемъ и треніемъ о поверхности шпаль; польза отъ увеличенія ширины балластнаго слоя (влекущаго за собой и уширеніе полотна) не оправдывается расходами. Для увеличенія бокового сопротивленія, можетъ быть полезнымъ собирать кучи балласта противъ концовъ шпаль, но по этому предмету нужны опыты. Весьма существеннымъ является увеличить ту площадь, по которой дѣйствуютъ торцы шпаль на балластъ. Съ этой цѣлью на нѣкоторыхъ французскихъ дорогахъ примѣняютъ поперечныя планки, придѣлываемыя у торцовъ шпаль. Способъ прикрѣпленія показанъ на чер. 1 и 2. Указанная мѣра увеличиваетъ сопротивленіе ненагруженнаго пути боковому сдвигу почти на 40%. Въмѣсто планокъ иногда у торцовъ шпаль вбиваютъ свайки, мѣшающія шпаламъ передвигаться. При двойномъ пути достаточно соединить продольно обрубками изъ старыхъ шпаль концы противоположащихъ путевыхъ поперечинъ. Увеличиваетъ неподвижность пути также соединеніе въ направленіи пути при помощи пластинъ или досокъ—шпаль, лежащихъ по обѣ стороны стыка, или ряда промежуточныхъ шпаль. Последняя мѣра чаще примѣняется для противодѣйствія продольному сдвигу пути, или такъ называемому угону. Нѣкоторые видятъ въ устройствѣ пути на лежняхъ преимущество сравнительно съ путемъ на шпалахъ въ томъ отношеніи, что при лежняхъ возможность передвиженія пути какъ въ боковомъ направленіи, такъ и въ продольномъ значи-

¹⁾ Brière (Revue g. de chemins de fer. Avril—1893) подсчитываетъ, исходя изъ конструкции паровозовъ, что это дѣйствіе достигаетъ по крайней мѣрѣ 1,4 тонны.

тельно уменьшается, особенно въ случаѣ, если лежни соединены черезъ извѣстные промежутки поперечинами. Подобное соединеніе обоихъ типовъ укладки пути въ видѣ лежней, прикрѣпленныхъ снизу подъ обыкновенными шпалами, въ большомъ употребленіи на желѣзныхъ дорогахъ юга Австріи.

Останавливаемся дольше на вопросѣ объ угонѣ рельсовъ и шпалъ, такъ какъ величина его характеризуетъ сопротивляемость пути горизонтальнымъ усиліямъ, и всѣ мѣры противъ угона уменьшаютъ вообще разстройство пути и, слѣдовательно, увеличиваютъ его устойчивость и прочность. Продольный угонъ верхняго строенія пути начинается всегда съ того, что рельсы отъ дѣйствія сцѣпленія съ колесами подвижнаго состава, торможенія и ударовъ скользятъ по своимъ подкладкамъ пока края овальныхъ дыръ рельсовыхъ концовъ не упрутся въ стыковые болты, связанные съ накладками, которыя своими фартухами зацѣпляются за стыковыя шпалы. При дальнѣйшемъ движеніи увлекаются стыковыя шпалы, по скольку продольныя усилія въ состояніи преодолѣть сопротивленіе балласта, окружающаго стыковыя шпалы. Иногда эти шпалы не сдвигаются, а нѣсколько наклоняются; это можно объяснить прежде всего недостаточной подбивкой ихъ или же особенными качествами балласта, треніе по коему нижнихъ постелей шпалъ представляетъ очень значительное сопротивленіе продольному перемѣщенію, сдвигается же этотъ балластъ сравнительно легко. Зимой, при мерзломъ балластѣ угоны наблюдаются въ весьма малыхъ размѣрахъ, весной, при оттаиваніи балласта и лѣтомъ, послѣ сильныхъ и продолжительныхъ дождей угоны проявляются особенно рѣзко. Подъ вліяніемъ даже незначительнаго угона зазоры въ стыкахъ рельсовъ становятся весьма различными, стыки уклоняются отъ положенія въ наугольникъ, причемъ ощущаются при прохожденіи подвижнаго состава сильные косые толчки, вызывающіе значительные удары на стыкахъ. Результатомъ такихъ ударовъ является сравнительно быстрый износъ стыковыхъ и сосѣднихъ къ нимъ шпалъ и разстройство пути. Угоны сильнѣе при двухъ путяхъ, длинныхъ уклонкахъ, въ мѣстахъ подхода къ станціи, гдѣ имѣетъ мѣсто торможеніе, и т. д. Самой простой мѣрой для увеличенія сопротивленія угону является привлеченіе къ участію въ этомъ сопротивленіи возможно большаго числа промежуточныхъ шпалъ при посредствѣ особыхъ угловыхъ накладокъ, сбалчиваемыхъ съ рельсомъ и прикрѣпляемыхъ къ шпаламъ или устройствомъ связи между промежуточными шпалами и стыковыми. Путь дѣлаютъ на сколько можно неподвижнымъ, забивая около шпалъ свайки, которыя связываютъ непосредственно верхнее строеніе съ полотномъ. Къ одной изъ очень хорошихъ мѣръ, противодѣйствующихъ угону, нужно отнести укладку стыковыхъ шпалъ на мелкій булыжный щебень съ

подбивкой имъ же. Размѣръ щебеновъ долженъ быть отъ $\frac{1}{2}$ до $1\frac{1}{2}$ ". Если вообще хорошая подбивка стыковыхъ шпаль приноситъ въ отношеніи сдвига пути большую пользу, то польза отъ употребленія щебня для подбивки шпаль особенно ощущается на участкахъ, гдѣ можетъ проявляться угонъ въ сильной степени. Хорошо подбитыя на щебнѣ стыковыя шпалы на столько упорно сопротивляются силамъ угона, что даже при исключительныхъ условіяхъ (сильное торможеніе) не наблюдается ни передвиженія отъ угона шпаль, подбитыхъ щебнемъ, ни поворачиванія, ихъ. Вообще держаніе стыковыхъ шпаль, какъ болѣе слабыхъ въ отношеніи своего положенія, на щебеночномъ балластѣ, если весь путь на балластѣ изъ песка, должно быть признано весьма полезнымъ по отношенію къ устойчивости и лучшаго сохраненія верхняго строенія.

Въ виду сказаннаго думается, что, если принять спеціальныя мѣры противъ угона пути, надлежитъ къ величинѣ C_0 прибавлять отъ 1 до 5. Въ большей части случаевъ крушенія, гдѣ не имѣло мѣста столкновение, поломка части подвижного состава, злоумышленіе, лопнувшій рельсъ или замѣченная по обслѣдованіи мѣста катастрофы неправильность въ содержаніи верхняго строенія пути, причину характеризуютъ общимъ несоотвѣтствіемъ скорости, развитой въ данномъ мѣстѣ поѣздомъ, со степенью устойчивости пути. Чаше всего приходится наблюдать вблизи мѣста катастрофы, тамъ, гдѣ паровозъ шелъ незадолго до схода съ пути, послѣдовательныя уширенія просвѣта между рельсами, причемъ они идутъ волнообразно то къ одной нитѣ колеи, то къ другой, постепенно увеличиваясь. Объясняютъ это извилистостью хода паровоза, которая, при нарушеніи полной устойчивости верхняго строенія, въ состояніи развиться до такой степени, что сдвигаетъ путь на величины значительныя. Вѣроятно весь путь при этомъ находится въ волненіи, и въ мѣстахъ, совпадающихъ съ вершинами волнъ, лежащихъ въ горизонтальной плоскости, получается отъ нажатія колесъ выворачиваніе рельсъ наружу. Не кроется ли начало такого разстройства пути, приводящаго въ концѣ концовъ къ крушенію, въ томъ, что тренія между балластомъ и шпалами становится недостаточно и весь балластъ легко поддается сдвигу вбокъ. Въ виду этого весьма интересны данныя опытовъ надъ сопротивленіемъ верхняго строенія боковому сдвигу.

Можно установить приблизительно, что путь незабалластированный, т. е. если шпалы положены прямо на полотно, и при отсутствіи поѣзда начинаетъ сдвигаться при боковомъ усилии въ $\frac{1}{2}$ тонны и это сдвигеніе достигаетъ значительныхъ уклоненій (6—8 см.) при усилии въ 2 тонны; если шпалы положены въ балластъ, но не прикрыты имъ, то усилія соотвѣтственно равны 1 и 4 тонны, а если шпалы прикрыты сверху и балластный слой широкъ, то усилія достигаютъ 2 и 8 тоннъ.

Если путь нагруженъ подвижнымъ составомъ, разница отъ рода укладки пути становится весьма незначительной и вообще можно сказать, что при усилии въ 2 тонны уже нарушается связь между шпалами и балластомъ, но, чтобы произошло замѣтное сдвигеніе пути въ бокъ (сантиметра на 2), надо приложить усиліе тоннъ въ 12. Что касается вліянія рода балласта, то чистый гравій не всегда оказывается въ отношеніи бокового сдвига лучше обыкновеннаго съ примѣсью глины. Преимущество же достаточно мелкаго щебня является несомнѣннымъ; такъ, если при обычномъ типѣ верхняго строенія усиліе, сдвигающее ненагруженный путь, равно 4 тонны, то при балластѣ изъ щебня нужно усиліе въ 8 тоннъ; при загруженномъ пути замѣна обыкновеннаго балласта щебнемъ имѣетъ уже нѣсколько меньшее значеніе, такъ, она поднимаетъ сопротивляемость пути съ 12 до 16 тоннъ.

Для абсолютной устойчивости пути важны цифры, показывающія, какое усиліе на боковой сдвигъ можетъ выдержать путь, когда онъ незагруженъ, потому что боковое усиліе паровоза передается при посредствѣ рельсовъ и частямъ, лежащимъ впереди движущаго паровоза, а также въ виду того, что, благодаря вертикальной качкѣ паровоза, имѣетъ мѣсто по временамъ разгрузъ его осей.

Весьма трудно сдѣлать оцѣнку cadaго балласта въ смыслѣ его сопротивляемости боковымъ усилиямъ. Коэффициенты сцепленія и тренія сыпучихъ тѣлъ опредѣляются весьма трудно и съ малой точностью. Объ угонѣ, который характеризуетъ эти свойства, говорилось выше. Если имѣются опыты съ опредѣленіемъ сопротивленія въ тоннахъ боковому сдвигенію (на замѣтную величину, — не менѣе 2 мм.) ненагруженного забалластированнаго пути ¹⁾, надлежитъ на каждую тонну сопротивленія свыше напр. 2-хъ прибавить къ значенію C_0 по единицѣ. При отсутствіи такихъ опытовъ, если балластъ состоитъ изъ средней крупности щебня съ острыми ребрами и углами, которые врѣзываются въ нижнюю подошву шпалы, слѣдуетъ C_0 увеличить на 2—3, для песчанаго остроугольнаго прибавлять 1, для глинистаго уменьшать на 1; если шпалы прикрыты балластомъ, прибавлять 1.

Условія проч-
ности бал-
ластнаго
слоя.

§ 14. Мы до сихъ поръ имѣли въ виду главнымъ образомъ устойчивость балластнаго слоя и зависящую отъ него устойчивость всего верхняго строенія, но, т. к. путь работаетъ весьма часто и притомъ весьма усиленно, то сверхъ вопросовъ объ его устойчивости весьма важ-

¹⁾ Приборомъ для такихъ опытовъ можетъ служить всякій динамометръ (напр. гидравлическ. динамометръ Колле, черт. 3).

нымъ является вопросъ о сохраненіи возможно дольше состоянія, обеспечивающаго эту устойчивость, т. е. о прочности балластного слоя.

Упругость балластного слоя является вообще несовершенной и колеблется въ небольшихъ предѣлахъ. По Энгессеру допустимое съ точки зрѣнія статики напряженіе балласта на сжатіе $p = 2 \frac{\text{кл}}{\text{см}^2}$ и осѣданіе слоя не должно превосходить $2\frac{1}{2}$ мм. На самомъ дѣлѣ единичное давленіе отъ шпалы около 3 кл./см.², а осѣданія получаютъ до 4 мм. Отсюда видно, какъ важно поставить балластъ въ условія, благопріятствующія его прочности, и, такъ какъ устойчивость балластного слоя во всѣхъ точкахъ не является обеспеченной, то необходимо при помощи постоянного досмотра и ремонта поддерживать указанныя условія.

Такъ какъ только хорошо подбитый балластъ представлетъ достаточное сопротивленіе осѣданію шпаль, то необходимо тщательно слѣдить, чтобы всѣ шпалы всегда были одинаково подбиты и подбивка находилась въ соотвѣтствіи съ качествомъ балласта, дѣйствующими на путь усиліями, а также длиной шпаль. Дѣло въ томъ, что шпала испытываетъ изгибъ при проходѣ поѣзда и упругая линія ея зависитъ отъ длины, поэтому для того, чтобы давленіе отъ подвижного состава распредѣлялось по возможности равномерно по всему балластному слою и чтобы шпалы не слишкомъ изгибались, слѣдуетъ подбивать шпалу неодинаково сильно по ея длинѣ. Обыкновенно подбиваютъ шпалы по серединѣ и у самыхъ концовъ слабѣе, чѣмъ подъ рельсами, но вопросъ о рачіональности этого метода мало освѣщенъ строгими научными опытами. Такъ какъ напряженіе въ балластѣ часто выходитъ за предѣлы упругости, а при повторяемости дѣйствія остаточныя деформации приводятъ къ разстройству подбивки, то текущій ремонтъ, заключающійся въ возстановленіи приданнаго первоначальной подбивкой состоянія балласта подъ шпалами, является первымъ условіемъ прочности его. Если шпалы въ пути такихъ размѣровъ, что подбивка подъ ними держится долго, если не замѣчается неравномѣрныхъ осѣданій шпаль или ихъ частей, шпалы не прогибаются и не пружиняютъ, слѣдуетъ добавлять къ значенію коэффиціента C_0 отъ 1 до 5.

Главные недостатки, дѣлающіе балластъ мало прочнымъ, слѣдующіе: 1) Онъ можетъ задерживать воду; мелкія его части превращаются въ грязь, при промерзаніи слой пучится, при оттаиваніи въ немъ нарушается подбивка, при содержаніи глинистыхъ примѣсей свыше 15% балластъ слѣдуетъ считать мало пригоднымъ, какъ плохо пропускающій воду и потому плохо просыхающій. При такомъ балластѣ можетъ размокать поверхность полотна и сопротивленіе балластного слоя боковому сдвигу значительно уменьшается. Для того, чтобы глинистое полотно не такъ легко размывалось, хорошо при плохихъ качествахъ балласта

подкладывать подъ него слой чистаго песку, щебня или шлака. Для лучшаго отведенія воды отъ полотна и для большей крѣпости балластного слоя иногда низъ его составляютъ изъ ряда камней. Въ случаяхъ, когда необходимо обезпечить невозможность проникновенія воды внутрь земляного полотна, покрываютъ поверхность его, которая всегда должна обдѣлываться выпуклостью, слоемъ глины, которой слѣдуетъ утрамбовать или уплотнить проходами катка. Всего меньше задерживаетъ воду и почти не разстраивается отъ проникновенія воды щебеночный балластъ, вотъ почему онъ требуетъ меньше всего рабочей силы на возобновленіе подбивки и меньше всего матеріала на пополненіе уносимыхъ и изнашиваемыхъ частей. Качество балласта имѣетъ также существенное вліяніе на быстроту разрушенія шпаль отъ гніенія. Наиболѣе неблагопріятнымъ въ этомъ отношеніи бываетъ такой балластъ, который, не имѣя проникновенію воздуха, задерживаетъ сырость. Такимъ является мелкій песокъ. Хрящъ и щебень, если они чисты, просыхаютъ очень быстро, и потому шпалы въ нихъ большею частью лежатъ сухими и сохраняются хорошо. Если въ песокъ примѣсь глины очень значительна, то вода въ немъ задерживается, глина разбухаетъ и воздухъ почти не имѣетъ доступа; по этой причинѣ въ суглинкѣ и глинѣ шпалы тоже сохраняются хорошо.

Если балластъ состоитъ изъ мелкаго матеріала или въ немъ содержится много мелкихъ частей, такъ что вода проходитъ черезъ него довольно медленно, весьма полезно придать профилю такую форму, чтобы значительная часть попадающей на полотно воды стекала по возможности быстро по наружной поверхности балласта. Въ Америкѣ весьма часто примѣняется выпуклый профиль (черт. 4). При этомъ торцы шпаль являются отчасти открытыми; плохая водопроницаемость большинства русскихъ балластовъ требовала бы возможно широкаго испытанія этой мѣры. До сихъ поръ точно не выяснено, лучше или хуже сохраняются шпалы, если онѣ съ торцовъ не прикрыты бермою песку; 2) Въ зависимости отъ формы и размѣровъ частицъ, твердости матеріала и иныхъ свойствъ балластъ можетъ быть подвижнымъ и легко кататься. Сопротивленіе пути горизонтальному перемѣщенію при такомъ балластѣ незначительно. Это имѣетъ мѣсто при балластѣ округленной формы, морскомъ или рѣчномъ. Полезно въ подобный песокъ прибавлять щебня или битой гальки. Обыкновенный гравій карьеровъ, перемѣшанный съ крупнозернистымъ пескомъ или мелкой галькой, даетъ, въ смыслѣ неподвижности, хорошій балластъ, если онъ не содержитъ слишкомъ много глины. Чистый песокъ и хрящъ гораздо подвижнѣе щебня и колотаго камня, и небольшая примѣсь глины, особенно въ хрящѣ, оказывается полезною. Сравнительную неподвижность балласта можетъ характеризовать средняя

крупность его зерна, но правильнѣе было бы продѣлать опыты для изученія величины спѣлленія у различныхъ сортовъ балласта. Вообще можно сказать, что балластъ болѣе крупный менѣе подвиженъ, такъ какъ извѣстно, что мелкій песокъ выбивается изъ подъ шпаль легче крупнаго. 3) Мелкій, незащищенный снаружи балластъ можетъ вымываться, особенно если не обезпеченъ стокъ воды, а также раздуться вѣтромъ. Россія бѣдна хорошими, крупными балластами. Развозка повсюду балласта высокихъ качествъ изъ разбросанныхъ на значительномъ разстояніи лучшихъ карьеровъ могла бы быть организована, но обошлась бы слишкомъ дорого, поэтому до сихъ поръ на сѣти русскихъ желѣзныхъ дорогъ пользуются въ качествѣ балласта пескомъ иногда даже самого посредственнаго качества. Гдѣ можно, его прикрываютъ возможно болѣе крупнымъ матеріаломъ, напр. галькой или слоемъ щебня, иногда позволяютъ такому балласту нѣсколько поростать травой. Съ успѣхомъ примѣняется противъ выдуванія на американскихъ и французскихъ дорогахъ легкая поливка балласта нефтяными или креозотовыми остатками. Если балластъ слишкомъ мелкій, то, помимо необходимости часто пополнять его, онъ представляетъ серьезное неудобство большимъ количествомъ пыли, которую онъ доставляетъ. Кромѣ нежелательности пыли для пассажировъ и товаровъ, она влечетъ изнашиваніе машинъ, стыковъ, головокъ рельсовъ и всего подвижного состава.

4) Содержаніе въ составѣ балласта большого количества извести и вообще растворимыхъ частей нежелательно, потому что дѣлаетъ его менѣе крѣпкимъ, а слѣдовательно менѣе прочнымъ относительно внѣшнихъ силъ и дѣйствія мороза и воды, а при употребленіи желѣзныхъ шпаль часто совсѣмъ негоднымъ, потому что эти шпалы требуютъ крѣпкаго и крупнаго балластнаго матеріала, иначе послѣдній скоро раздавливается, и стирается, и путь приходитъ въ разстройство. Но даже и при деревянныхъ шпалахъ и не особенно сильномъ движеніи балластъ нѣсколько изнашивается и требуетъ пополненія и замѣны части приходящей въ негодность, которая тѣмъ менѣе, чѣмъ крѣпче матеріалъ балласта.

Какъ видимъ изъ изложеннаго, тѣ же качества, которыя обезпечиваютъ устойчивость балластнаго слоя, содѣйствуютъ и его прочности. Матеріалы, которые крѣпче, крупнѣе и обладаютъ большимъ треніемъ частицъ, они же менѣе изнашиваются, размываются и распыливаются. Слѣдовательно можно принять, что процентъ ежегоднаго дополненія балласта въ пути тѣмъ больше, чѣмъ меньше сумма качествъ, обезпечивающихъ прочность балласта. Считая нормальною убыль 5% объема въ годъ, можно условиться для тѣхъ балластовъ, которые требуютъ большаго количества на ежегодный ремонтъ, уменьшать коэффициентъ C_0 на число процентовъ свыше указанныхъ 5. Заграницей считаютъ

норму ежегодной замѣны балласта примѣрно въ 5%. Въ Россіи смѣтная норма пополненія балластнаго слоя тоже близка къ этой цифрѣ (5—6 куб. саж. на версту пути), на самомъ же дѣлѣ на тѣхъ дорогахъ, гдѣ нѣтъ верхняго щебеночнаго балласта, для пополненія расходуется 10—15% (на Сибирской ж. д. до 15 куб. саж. на версту), такъ какъ большое количество балласта вымывается дождями.

Какъ видимъ, матеріаль для балласта, кромѣ того, чтобы при немъ получался достаточный коэффициентъ постели, долженъ отвѣчать въ большей или меньшей степени весьма многимъ условіямъ, такъ что для правильнаго сужденія о балластѣ нужно каждый разъ всесторонне изучить его со стороны физическихъ и механическихъ свойствъ. Для общихъ сужденій принимаютъ, что главнымъ условіемъ устойчивости и прочности удовлетворяютъ, какъ матеріаль для балласта (см. Технические условія на укладку пути при постройкѣ Сибирской ж. д.):

а) Кварцевый гравій со щебнемъ изъ песчаника, сіенита, гранита (щебень изъ гранита, содержащій много полевого шпата, измельчаясь, даетъ много глины, почему такой щебень не долженъ быть употребляемъ), известковыхъ и базальтовыхъ камней въ пропорціи, примѣрно, 2:5;

б) Хрящъ;

в) Чистый неглинистый песокъ, достаточно крупный, съ хрящемъ или галькой.

Верхній балластъ долженъ быть изъ крупнаго, если возможно, грохоченаго гравія или изъ щебня отъ $\frac{3}{8}$ " до 2" въ діаметрѣ. Нижній балластъ (насыпаемый подъ шпалами) состоитъ изъ болѣе мелкаго щебня и гравія или же изъ крупнаго песку. Иногда въ основаніе балласта кладутъ слой сухой кладки.

III. Вопросъ о балластѣ въ связи съ свойствами прочихъ частей пути.

Опредѣленіе
вертикаль-
наго давлѣ-
нія паровоз-
ной оси на
шпалу.

§ 15. Теорія напряженій въ частяхъ верхняго строенія пути достаточно стройно разработана, но все же она не даетъ отвѣтовъ на всѣ вопросы, относящіеся къ размѣрамъ и свойствамъ этихъ частей, а особенно балластнаго слоя. Это объясняется, во первыхъ, тѣмъ обстоятельствомъ, что большую роль въ величинѣ напряженій верхняго строенія пути играетъ конструкція подвижнаго состава, а также что въ игру входятъ физическія и атмосферныя явленія, трудно поддающіяся учету.

Безопасность движенія съ одной стороны и наименьшіе расходы по эксплуатаціи линіи съ другой возможны только при условіи достаточного запаса сопротивляемости пути сравнительно съ производимымъ

на него наибольшимъ давленіемъ. Нужны изслѣдованія сопротивляемости шпаль и балласта, передающихъ послѣдовательно на земляное полотно давленія отъ подвижныхъ грузовъ, необходимо выяснитъ роль каждого изъ указанныхъ элементовъ и тѣхъ измѣненій, какія въ нихъ могутъ происходить. Только полная теорія работы всѣхъ частей верхняго строенія, руководящаяся результатами многочисленныхъ опытовъ и наблюдений надъ жизнью пути, можетъ дать возможность правильно оцѣнивать тѣ или другія мѣры, принимаемыя желѣзными дорогами для удовлетворенія требованій современнаго хозяйства ихъ.

Такъ какъ представить аналитически, т. е. ввести въ какія нибудь формулы условія устойчивости балластнаго слоя можно только совмѣстно съ условіями устойчивости и прочности иныхъ частей верхняго строенія и главнымъ образомъ рельсовъ, то, имѣя въ виду болѣе полнымъ образомъ, чѣмъ то дѣлалось до сихъ поръ, ввести въ формулы, касающіяся верхняго строенія пути, зависимость отъ качествъ балласта, мы принуждены остановиться на имѣющихся формулахъ расчета прочности рельсовъ и величинъ прогибовъ верхняго строенія подъ вліяніемъ дѣйствія колесъ.

Прежде всего надлежитъ изслѣдовать вертикальное давленіе производимое переднимъ колесомъ паровоза. Дѣло въ томъ, что при движеніи паровоза давленіе осей не остается неизмѣннымъ, а, отчасти вслѣдствіе относительнаго движенія частей паровоза другъ относительно друга, отчасти отъ воздѣйствія пути, измѣняющаго свой видъ подъ вліяніемъ движенія, — получается, то усиленіе, то ослабленіе давленія оси сравнительно съ статическимъ. Циммерманъ выяснилъ, что при непрерывныхъ балкахъ, лежащихъ на упругихъ опорахъ, данный грузъ производитъ въ точкѣ его приложенія наибольшій изгибающій моментъ въ томъ случаѣ, когда въ этой точкѣ не отражается вліяніе сосѣдняго груза. Это имѣетъ мѣсто, когда переднее колесо паровоза производитъ полное давленіе, слѣдующее же колесо (какъ это иногда бываетъ) временно разгружается. Давленіе колеса состоитъ не только изъ вѣса его въ статическомъ состояніи, но и изъ добавочныхъ вертикальныхъ усилій, происходящихъ: во 1) отъ колебанія рессоръ при общей качкѣ паровоза во время движенія, которая особенно усиливается отъ недостатковъ въ устройствѣ какъ пути, такъ и паровоза; согласно опытовъ Brière'a (весьма неполныхъ) принимаютъ, что вліяніе только колебанія рессоръ сказывается увеличеніемъ давленія до 1,63 статическаго и уменьшеніемъ до 0,38; во 2) отъ каченія колеса не по прямому, а по изогнутому рельсу, согласно примѣрнымъ подсчетамъ Винклера на основаніи опытовъ Филиппса, увеличеніе давленія на вертикальную составляющую центробѣжной силы, получающейся отъ движенія по прямому рельсу, для скоростей 36 кмтр.

въ часъ 54, и 72—соотвѣтствуютъ 5,12 и 22% (выше указывалось, что Винклеръ неправильно придавалъ такое большое значеніе прогибу рельса между шпалами); 3) отъ воздѣйствія колесныхъ противовѣсовъ, устраиваемыхъ для уменьшенія качаній паровоза; его оцѣниваютъ примѣрно въ 50% отъ статическаго давленія; при сколько нибудь неравномѣрно изношенныхъ бандажахъ оно можетъ быть значительно больше. Такъ какъ хорошо подобранные противовѣсы лишь уравниваютъ при движеніи даннаго паровоза съ средней присущей ему скоростью добавочныя вліянія пальцевъ и мотылей, то казалось бы, что большихъ добавочныхъ усилій отъ ихъ присутствія нельзя ожидать.

Такимъ образомъ дѣйствіе динамическое колеса принято считать примѣрно въ $2\frac{1}{4}$ раза больше его статическаго давленія¹⁾. Установить коэффициентъ, характеризующій возрастаніе давленія, является невозможнымъ теоретическимъ путемъ и приходится довольствоваться указаніями весьма неполныхъ опытовъ. Этотъ коэффициентъ измѣняется въ зависимости отъ типа подвижнаго состава и способовъ его содержанія, отъ тяжести и скорости поѣздовъ, отъ состоянія пути и особенностей почвенныхъ условий. Весьма цѣнно было бы установить для каждой дороги значеніе указаннаго коэффициента для наибольшей скорости при различныхъ типахъ обращающихся на ней паровозовъ.

При движеніи колеса рельсы испытываютъ волнообразное движеніе въ вертикальной плоскости, при коемъ наинисшая точка постоянно совпадаетъ съ точкой приложенія груза, въ этой точкѣ развивается наибольшій изгибающій моментъ. Шпалы испытываютъ вертикальное колебаніе, т. е. то опускаются ниже уровня, соотвѣтствующаго состоянію покоя, то поднимаются. Прогибъ рельса между шпалами, въ зависимости отъ распредѣленія груза на опоры, отличается отъ прогиба его надъ шпалами на долю миллиметра; поэтому, не смотря на вертикальное колебаніе шпалъ и поперечныхъ сѣченій рельсовъ, колеса должны двигаться по линіи, лежащей ниже нормальнаго уровня рельсовъ, но почти параллельно этому уровню. Подобное явленіе имѣло бы мѣсто при неизмѣняющемся давленіи колеса, но на самомъ дѣлѣ сверхъ этого давленія получаютъ значительныя вертикальныя составляющія центробѣжныхъ силъ, развиваемыхъ противовѣсами. Эти вертикальныя составляющія принимаютъ, какъ уже указано, въ 50% и болѣе отъ статическаго давленія колесъ, приэтомъ, въ зависимости отъ положенія противовѣсовъ

¹⁾ Стецевичъ считаетъ это отношеніе равнымъ 1,65 и указываетъ, что Резаль выводитъ, что динамическое дѣйствіе колеса для среднихъ скоростей 54 клм. въ часъ равно 1.7 статическаго дѣйствія.

при вращеніи колеса, онѣ то увеличиваютъ, то уменьшаютъ давленіе колесъ. Получающіяся волны тѣмъ длиннѣе и плавнѣе, чѣмъ больше діаметръ колесъ, снабженныхъ противовѣсами, онѣ тѣмъ круче, чѣмъ больше скорость, такъ какъ со скоростью увеличиваются вертикальныя составляющія силы, вызываемыхъ противовѣсами. Съ другой стороны при очень большой скорости движенія даже недостаточно жесткій путь теряетъ часть амплитуды колебаній, такъ какъ для выгиба рельса нужно нѣкоторое время, а между тѣмъ та же точка рельса вскорѣ послѣ того, какъ должна была подниматься, уже должна начать опускаться. Для обезпеченія большей безопасности движенія и для возможно меньшей изнашиваемости подвижного состава и частей пути необходимо съ одной стороны принимать мѣры къ улучшенію конструкціи паровозовъ, чтобы ихъ движеніе было возможно плавнѣе и правильнѣе, а съ другой стороны увеличивать жесткость пути, такъ какъ при этомъ условіи многія добавочныя силы перестаютъ вліять на послѣдовательныя измѣненія давленія колесъ.

О вліяніи противовѣсовъ на ходъ паровоза даютъ понятіе опыты, произведенныя въ 1893 г. въ Perdue University (Штатъ Индіана) съ установленнымъ тамъ для экспериментальныхъ цѣлей настоящимъ паровозомъ. Подъ паровозное колесо одинъ за другимъ подводились (увлекались вращеніемъ колеса по катку замѣняющему рельсъ) куски проволоки, которые сплющивались въ полоску, причемъ максимумъ давленіе противовѣса усиливаетъ сплющиваніе. Еще раньше, чѣмъ скорость достигла 60 килом. въ часъ, уже стали обнаруживаться при каждомъ оборотѣ моментальныя приподнятія паровознаго колеса надъ каткомъ, что доказывалось появленіемъ несплющенныхъ мѣстъ на проволокахъ, причемъ моменты приподнятія совпадали съ восходящимъ движеніемъ противовѣса. При увеличеніи скорости до 90 мил. въ часъ длина сохранившейся круглой сѣченіе части проволоки отвѣчала приблизительно 55° окружности колеса. Нисходящее движеніе колеса совершалось съ гораздо большею быстротой, чѣмъ восходящее, что вполне понятно, ибо въ послѣднемъ случаѣ колесу приходится преодолевать кромѣ собственнаго вѣса, еще и упругое дѣйствіе рессоры, тогда какъ при паденіи колеса внизъ то и другое способствовало ускоренію движенія.

Слѣдуетъ пожалѣть, что описанный опытъ былъ сдѣланъ въ грубой формѣ и не была вычислена работа колеса въ разные моменты его вращенія. Результатъ для жесткаго рельса съ большимъ сѣченіемъ можетъ быть оказался бы нѣсколько инымъ, чѣмъ для проволоки, которая подверглась испытанію. При этомъ надо замѣтить, что вліяніе на путь всѣхъ колесъ паровоза и лежащихъ на нихъ рессоръ, связанныхъ общей рамой и тяжестью котла, въ значительной степени болѣе равномернѣе,

чѣмъ вліяніе отдѣльнаго колеса при недостаточно солидномъ и жесткомъ базисѣ, на который оно дѣйствуетъ. Очень большое значеніе имѣетъ хорошее устройство противовѣсовъ, и при вопросѣ о прочности пути надо всегда имѣть въ виду, что ей въ высокой степени способствуютъ улучшения въ конструкціи паровозовъ. Случаи порчи пути вслѣдствіе неправильно уравновѣшенныхъ колесъ повторяются часто, но не всегда являются достаточно освѣщенными. *Railroad Gazette*, въ которой были описаны вышеупомянутыя опыты¹⁾, приводитъ примѣръ, когда товарный холодный паровозъ со снятыми шатунами, слѣдовавшій съ поѣздомъ, двигающимся съ очень большой скоростью, расшилъ путь на значительномъ разстояніи, вслѣдствіе чего послѣдовало распоряженіе, чтобы впредь паровозы со снятыми шатунами двигались со скоростью не болѣе 15 кил. въ часъ. Во многихъ случаяхъ динамическое дѣйствіе противовѣсовъ паровозныхъ колесъ совершенно ясно обнаружилось вертикальными и горизонтальными искривленіями рельсовъ, повторяющимися черезъ равныя промежутки разстоянія, отвѣчавшіе совершенно точно длинѣ окружности колесъ.

Такъ или иначе условившись считать отношеніе динамическаго дѣйствія къ статическому, выясняютъ болѣе точнымъ образомъ напряженія въ матеріалѣ рельсовъ, какія онѣ испытываетъ при помѣщеніи колесъ паровоза самымъ невыгоднымъ образомъ по отношенію къ шпаламъ. Сейчасъ увидимъ, что и подсчетъ напряженія въ одной только части верхняго строенія (рельсахъ) при статическомъ дѣйствіи грузовъ представляетъ большія трудности.

Формулы для
опредѣленія
опусканія
шпалъ и вве-
деніе въ
нихъ коэфф.
С.

§ 16. Положимъ, что колесо находится надъ шпалой и оказываетъ на нее давленіе G . Шпалы противодействуютъ этому давленію, но не настолько, чтобы совсѣмъ не опуститься, значитъ это противодействіе выразится величиной P' меньше, чѣмъ G . Сила $G - P' = P$ производитъ выгнутіе рельса, причемъ стрѣла прогиба y равна разницѣ между величиной сжатія балласта подъ означенной шпалой y' (отвѣчающей силѣ F') и величиной сжатія y_0 (черт. 5) балласта подъ сосѣдними шпалами (отвѣчающей силѣ P_0 , дѣйствующей на сосѣдную съ разсматриваемой шпалу). Согласно общей теоріи изгиба свободно лежащей балки $y' - y_0 = \frac{(G - P')(2a)^3}{48EJ}$, гдѣ a разстояніе между шпалами. Обозначая черезъ B величину $\frac{48EJ}{(2a)^3} = \frac{6EJ}{a^3}$, представляющую не что

¹⁾ «Инженеръ» 1904 г. № 11.

иное, какъ усиліе необходимое для опусканія шпалы на одну единицу, получимъ

$$y' - y_0 = \frac{G - P'}{B}. \quad (1)$$

Порознь y' и y_0 зависятъ отъ F' , P_0 , а также размѣровъ подошвы шпалы (b ширина и l полудлина) и коэффициента постели, а именно $y' = \frac{P'}{Cbl}$ и $y_0 = \frac{P_0}{Cbl}$. Выраженіе Cbl (сила необходимая для вдавливанія полушпалы въ балластъ на 1 сантиметръ) обозначаютъ одной буквой D . Предпочтительно ввести въ это выраженіе еще коэффициентъ, зависящій отъ упругости и размѣровъ шпалы, такъ какъ шпала сама деформируется¹⁾, и тогда $y' = \frac{P'}{Cnbl} = \frac{P'}{D}$ и $y_0 = \frac{P_0}{Cnbl} = \frac{P_0}{D}$.

Слѣдовательно $y' - y_0 = \frac{P' - P_0}{D}$, а такъ какъ $P' + 2P_0 = G$ (при передачѣ давленія на три шпалы), то

$$y' - y_0 = \frac{G - 3P_0}{D}. \quad (2)$$

Сопоставляя уравненія (1) и (2), имѣемъ $\frac{G - P'}{B} = \frac{G - 3P_0}{D}$. Отсюда, при помощи $P' + 2P_0 = G$, находимъ:

$$P' = \frac{B + 2D}{3B + 2D} G, \quad P_0 = \frac{B}{3B + 2D} G, \\ y_0 = \frac{P_0}{D} = \frac{B}{3B + 2D} \cdot \frac{G}{D}, \quad y' = \frac{P'}{D} = \frac{B + 2D}{3B + 2D} \cdot \frac{G}{D}.$$

Обозначивъ $\frac{B}{D}$ буквою α , получимъ выраженія:

$$P' = \frac{\alpha + 2}{3\alpha + 2} G, \quad P_0 = \frac{\alpha}{3\alpha + 2} G; \quad (3);$$

также можно написать $y' = \frac{\alpha + 2}{3\alpha + 2} G/D$. Значенія дѣйствующихъ моментовъ въ рельсѣ слѣдующія: $M_0 = 0$; $M' = P_0 a = \frac{B}{3B + 2D} Ga$, или

¹⁾ Коэффициентъ этотъ, по мнѣнію Аста, близокъ къ 0,9. Въ формулахъ для расчета прочности рельсовъ, предложенныхъ Инженернымъ Совѣтомъ Министерства П. С. (Техническія Условія проектированія магистралей, § 57), имѣется $D = 0,89 Cbl$, т. е. этотъ коэффициентъ взятъ 0,89 (какъ средній изъ полученныхъ Стецевичемъ 0,87—0,91 для нѣкоторыхъ типовъ русскихъ жел. дорогъ).

$M' = \frac{\alpha}{3\alpha + 2} Ga$. Имѣются аналогичныя формулы для иныхъ положеній грузовъ относительно шпаль.

Въ дѣйствительности значеніе α колеблется между 0,5 и 4; для этихъ значеній давленіе P' получается чаще около 0,5 G , но доходитъ и до 0,7 G .

Указанное выше выраженіе (3) для максимальнаго давленія на шпалу, извѣстное подъ названіемъ формулы Шведлера и выведенное въ предположеніи, что давленіе передается всего на 3 опоры, можно получить изъ общаго выраженія такъ называемаго Клапейроновскаго уравненія упругой линіи балки на многихъ подвижныхъ опорахъ, причемъ можно прослѣдить, на сколько именно опоръ правильнѣе предположить распределеніе груза.

$$\text{Общее уравненіе упругой линіи } \pm EJ \frac{d^2 y}{dx^2} = M.$$

Разсматривая два смежныхъ пролета, нагруженныхъ каждый однимъ грузомъ и равномерной нагрузкой, пишемъ для каждаго пролета въ части его до точки приложенія сосредоточеннаго груза и за этой точкою выраженія для моментовъ и интегрируемъ уравненіе два раза (черт. 6).

Постоянныя, которыя получаются при интегрированіи, находимъ изъ сравненія полученныхъ при интегрированіи результатовъ для общихъ точекъ разсматриваемыхъ частей балки и въ концѣ концовъ получимъ¹⁾:

$$6EJ_0 \left(\frac{y'_1 - y'_0}{l_0} + \frac{y'_1 - y'_0}{l_1} \right) = - \left[M'_0 l_0 + 2M'_1 (l_0 + l_1) \frac{J_0}{J_1} + M'_2 l_1 \frac{J_0}{J_1} \right] + \frac{P_0 a'_0 (l_0^2 - a'^0_0)}{l_0} + \\ + \frac{P_1 a'_1 (l_1^2 - a'^1_1)}{l_1} \cdot \frac{J_0}{J_1} + \frac{q_0 l_0^3}{4} + \frac{q_1 l_1^3}{4} \cdot \frac{J_0}{J_1}.$$

При дѣйствіи системы грузовъ въ каждомъ пролетѣ получится аналогично:

$$6EJ_0 \left(\frac{y_1 - y_0}{l_0} + \frac{y_1 - y_2}{l_1} \right) = - \left[M_0 l_0 + 2M_1 (l_0 + l_1) \frac{J_0}{J_1} + M_2 l_1 \frac{J_0}{J_1} \right] + \sum \frac{P_0 a_0 (l_0^2 - a_0^2)}{l_0} + \\ + \sum \frac{P_1 a_1 (l_1^2 - a_1^2)}{l_1} \cdot \frac{J_0}{J_1} + \frac{q_0 l_0^3}{4} + \frac{q_1 l_1^3}{4} \cdot \frac{J_0}{J_1}.$$

Знакъ—передъ скобками можно пропустить, только тогда надо считать положительными моменты сопротивленій опоръ, направленныхъ вверхъ и отрицательными моменты силъ, направленныхъ внизъ.

Когда пролеты равны и въ каждомъ дѣйствуетъ одинъ только сосредоточенный грузъ безъ равномерной нагрузки, т. е. $l_0 = l_1$, $J_0 = J_1$ и $q_0 = q_1 = 0$, тогда будетъ:

$$\frac{6EJ_0}{l_0} (2y_1 - y_0 - y_2) = (M_0 + 4M_1 + M_2) l_0 + \frac{P_0 (l_0^2 - a_0^2)}{l_0} + \frac{P_1 (l_0^2 - a_1^2) a_1}{l_0} \quad (4)$$

¹⁾ Холодецкий. Изслѣдованіе вліянія вѣшнихъ силъ на верхнее строеніе желѣзнодорожнаго пути.

Пользуясь этимъ уравненіемъ для каждой пары смежныхъ пролетовъ, мы можемъ найти относительныя пониженія опоръ $y_1 - y_0$ и $y_2 - y_1$. Предположивъ балласть упругимъ, принимаемъ, что опорныя сопротивленія поперечинъ (или давленія на нихъ) пропорціональны указаннымъ пониженіямъ. Назвавъ сопротивленіе опоры черезъ r и коэффициентъ пропорціональности k , имѣемъ $y = kr$ или $y = \frac{1}{D} \cdot r$, гдѣ D грузъ, который долженъ быть приложенъ къ шпалѣ длиной a и шириной b у каждого изъ двухъ рельсовъ, чтобы она погрузилась въ балласть на 1 см. Если пренебрежемъ изгибомъ самой поперечины, то $D = \frac{Cab}{2}$, гдѣ C есть коэффициентъ постели, выражающій величину нагрузки на единицу площади балласта, способной сжать его на 1 см.¹⁾ Отъ примѣненія приближенной формулы для D вмѣсто точной — погрѣшность не превосходитъ 5%, поэтому практически возможно сдѣлать предположеніе, что шпала не выгибается. При изученіи вліянія внѣшнихъ силъ на верхнее строеніе пути важно знать давленіе на шпалы (ихъ опорныя сопротивленія r) и максимальныя моменты, дѣйствующіе въ рельсѣ. Казалось бы, зная наибольшіе опорныя сопротивленія, мы можемъ простымъ подсчетомъ опредѣлить максимальныя моменты. Но дѣло въ томъ, что наибольшія давленія на шпалы будутъ имѣть мѣсто тогда, когда грузъ расположенъ надъ шпалой, а наибольшіе моменты въ рельсѣ будутъ для расположенія груза по серединѣ между шпалами. Поэтому для отысканія первыхъ надо предположить, что грузъ стоящій надъ шпалой распредѣляетъ свое дѣйствіе между тремя, пятью и т. д. поперечинами, а для отысканія вторыхъ надо предположить грузъ по серединѣ пролета и число шпалъ 4, 6 и т. д.

При грузѣ надъ средней изъ 3-хъ шпалъ имѣемъ (черт. 7) $M_0 = M_2 = 0$ и уравненіе (4) даетъ $\frac{6EJ_0}{l_0^2} (2y_1 - 2y_0) = 4M_1$. Полагая $y_1 - y_0 = k(r_1 - r_0)$ и такъ какъ здѣсь $M_1 = v_0 l_0$ и $r_0 = \frac{P-r}{2}$, получимъ $\frac{6EJ_0}{l_0^2} k \left(r_1 - \frac{P-r}{2} \right) = P - r_1$. Если положимъ $\frac{6EJ_0}{l_0^3} = \frac{1}{\mu}$, тогда $\frac{k}{\mu} \left(r_1 - \frac{P-r}{2} \right) = P - r_1$, откуда $r_1 = P \cdot \frac{2 + \frac{k}{\mu}}{2 + 3\frac{k}{\mu}} = \frac{2 + \alpha}{2 + 3\alpha} \cdot P$ (формула Шведлера) (5)

Гофманомъ разобранъ случай, когда усилія трехъ грузовъ приложены къ тремъ шпаламъ черезъ одну. При этомъ получается опорное сопротивленіе больше, чѣмъ по формулѣ Шведлера, именно $r_1 = \frac{4\alpha + 1}{8\alpha + 1} \cdot P$ (черт. 8).

Обозначеніе $\frac{1}{\mu} = \frac{6EJ_0}{l_0^3}$ можно назвать одной буквой B , которая представляетъ силу, производящую по серединѣ свободнолежащаго бруса длиной $2l_0$ стрѣлу прогиба равную единицѣ. Дѣйствительно $f = 1 = \frac{8Bl^3}{48EJ_0}$, такъ что $B = \frac{6EJ_0}{l_0^3}$.

¹⁾ По Циммерману $D = \frac{Cb^4}{\eta_6} \sqrt{\frac{4E'J'}{Cb}}$, гдѣ E' и J' относятся къ поперечинѣ, η_6 число, выражающее зависимость между длиной шпалы и шириною пути и имѣющееся въ особыхъ таблицахъ.

Отношение $\frac{B}{D} = \frac{k}{\mu}$, которое обозначают одной буквой α , для существующихъ въ Россіи типовъ рельсовъ и шпаль колеблется примѣрно отъ 0,3 до 3.

Надо разсмотрѣть, для всѣхъ ли случаевъ можно сдѣлать предположеніе при отысканіи наибольшаго давленія на шпалу, что грузъ распределяется между тремя поперечинами. Если возьмемъ 5 шпаль (черт. 9), то давленіе будетъ:

$$r_0 = \frac{-3\alpha + \alpha^2}{7 + 34\alpha + 5\alpha^2}, \quad r_1 = \frac{11\alpha + \alpha^2}{7 + 34\alpha + 5\alpha^2}$$

и наибольшее

$$r_2 = \frac{7 + 18\alpha + \alpha^2}{7 + 34\alpha + 5\alpha^2} \quad (6)$$

Изъ перваго равенства видимъ, что r_0 для значеній $\alpha > 3$ получаетъ положительныя значенія, т. е. крайнія поперечины не сжимаютъ балластнаго слоя пока $\alpha < 3$ и, стало быть, до этого предѣла имѣетъ мѣсто формула Шведлера, а когда α превзойдетъ 3, надо для наибольшаго давленія поперечины пользоваться формулой (6).

При опредѣленіи напряженія въ рельсѣ отъ статическаго давленія пользуются обыкновенно формулой Циммермана $\max M = \frac{8\alpha + 7}{16\alpha + 40} Pl$

Она получается также какъ предыдущія, если предположимъ 4 опоры и грузъ по серединѣ. Формула (4) превратится въ

$$\frac{6EJ_0}{l_0^2} (2y_1 - y_0 - y_1) = 4M_1 + M_2 + \frac{3}{8}Pl_0.$$

Изъ чертежа 10 имѣемъ: $M_1 = r_0 l_0$; $M_2 = (2r_0 + r_1 + \frac{P}{2}) l_0$. Подставивъ вмѣсто $(y_1 - y_0)$

равную величину $k(r_1 - r_0)$, получимъ $\frac{k}{\mu} (r_1 - r_0) = 6r_0 + r_1 + \frac{3}{8}P$; зная, что $r_0 + r_1 = \frac{P}{2}$,

имѣемъ $r_0 = \frac{4\alpha - 3}{16\alpha + 40} P$; r_0 становится положительнымъ отъ $\alpha > \frac{3}{4}$; далѣе $r_1 = \frac{4\alpha + 23}{16\alpha + 40} P$;

$$\max M = \left(\frac{3}{2} r_0 + \frac{1}{2} r_1 \right) l_0 = \frac{8\alpha + 7}{16\alpha + 40} Pl_0 \quad (7)$$

Для значеній $\alpha < \frac{3}{4}$, надо брать не 4, а 2 опоры, тогда

$$\max M = \frac{1}{4} Pl_0.$$

Если взять 6 опоръ, получимъ соотвѣтственное r_0 положительное лишь для значеній $\alpha > 8,16$. Слѣдовательно для значеній α промежуточныхъ отъ 0,75 до 8,16 надо примѣнять формулу Циммермана (для обыкновенно встречающихся значеній α величина r не больше 0,5P).

Выведенныя величины для опорныхъ сопротивленій и моментовъ нѣсколько измѣнятся, если принять во вниманіе изгибъ поперечинъ, вліяніе вѣса рельсовъ и шпаль, вліяніе близъ лежащихъ грузовъ, а также возможность существованія зазора подъ шпалою вслѣдствіе плохой подбивки. На величину сопротивленія первыя два

обстоятельства вліяють¹⁾, уменьшая его приблизительно на 5%, прочія увеличиваютъ на 5%, 20%.

Холодецкий учитываетъ вліяніе несовершенной подбивки поперечинъ вѣдѣствіе случайныхъ причинъ или неоднородности балласта, причемъ считаетъ зазоръ η между шпалами и балластомъ достигающимъ 4 мм. Приращеніе дѣйствующаго въ рельсѣ момента достигаетъ $\frac{1}{5} \eta Bl$, гдѣ $B = \frac{6EJ_0}{l^3}$ грузъ, который долженъ быть приложенъ къ рельсу по серединѣ двойного пролета (2l), чтобы вызвать прогибъ въ 1 см.

Вліяніе изгиба поперечинъ сказывается увеличеніемъ какъ опорныхъ сопротивленій, такъ и изгибающаго момента до 5%.

Вѣсъ верхняго строенія уменьшаетъ статическіе дѣйствующіе моменты отъ 4 до 15%.

Если разсматривать вліяніе не одного груза, а системы ихъ, окажется, что присутствіе сосѣднихъ грузовъ уменьшаетъ изгибающіе моменты на 3—14%. Опорныя сопротивленія при близкомъ другъ къ другу осяхъ получаются на 2—20% больше,

чѣмъ исчисленныя по формулѣ Шведлера $y = \frac{\frac{k}{\mu} + 2}{3 \frac{k}{\mu} + 2} \cdot P$. При этомъ оказывается, что

максимальное давленіе почти не зависитъ отъ $\frac{k}{\mu}$ (по крайней мѣрѣ въ границахъ $\frac{k}{\mu}$ отъ $\frac{1}{3}$ до 2). Отсюда вытекаетъ, что съ увеличеніемъ вѣса рельса нельзя ожидать уменьшенія опорныхъ давленій рельса на поперечины, и на участкахъ пути съ плохимъ балластомъ, на которыхъ подбивка пути разстраивается отъ прохода четырехосныхъ паровозовъ, увеличеніе вѣса рельса не будетъ мѣрою раціональною, если ею предполагается ослабить вліяніе плохого балласта.

Для такихъ участковъ и паровозовъ слѣдуетъ увеличивать прочность пути другими мѣрами, а именно: уменьшеніемъ разстоянія между поперечинами и увеличеніемъ нижней постели шпаль. Изъ этихъ двухъ мѣръ надо отдать предпочтеніе первой, такъ какъ съ уменьшеніемъ пролета не только уменьшаются максимальныя опорныя сопротивленія, но и напряженія матеріала при изгибѣ рельсовъ. Конечно послѣднее разсужденіе, какъ основанное на болѣе или менѣе гадательныхъ формулахъ, очень нуждается въ подтвержденіи путемъ опыта.

Длина накладокъ оказываетъ незначительное вліяніе на увеличеніе дѣйствующихъ на накладку моментовъ, нѣсколько большее вліяніе на уменьшеніе моментовъ, изгибающихъ накладку, оказываетъ увеличеніе момента инерціи послѣднихъ. Самое существенное вліяніе на моменты дѣйствующіе на накладку, оказываетъ качество балласта, причемъ особенно для тяжелыхъ рельсовъ. Такъ, уменьшеніемъ коэффициента балласта вдвое, — моменты, изгибающіе накладку, увеличиваются на 22%. Моменты возрастаютъ съ уменьшеніемъ зазора и увеличеніемъ стыкового пролета. При упругой работѣ накладокъ и отсутствіи зазора между ними и рельсами давленіе на стыковую шпалу было бы меньше промежуточныхъ, но при условіяхъ болѣе близкихъ практикѣ давленіе

¹⁾ По чисто теоретическимъ вычисленіямъ Холодецкого.

на стыковую шпалу можетъ быть нѣсколько болѣе P . Присутствіе потайныхъ толчковъ можетъ еще увеличить моментъ. Профиль рельса въсомъ напр. $24\frac{1}{3}$ ф. недостаточенъ для того, чтобы можно было рельсы этого профиля связать накладками, способными сопротивляться изгибу въ упругомъ образѣ, или для удовлетворенія послѣдняго условія профиль рельса долженъ быть увеличенъ въ тѣмъ большей степени, чѣмъ качество балласта хуже. Улучшеніемъ балластнаго слоя подъ стыковыми и смежными къ нимъ шпалами можно уменьшить напряженіе въ накладкахъ.

Изъ предыдущаго видно, какъ сложнымъ является для полнаго рѣшенія теоретическимъ путемъ вопросъ о статическомъ вліяніи груза на рельсы, какъ тѣсно связаны всѣ части верхняго строенія пути, какъ много приходится фантазировать, дѣлая разныя упрощенія и предположенія. Всѣ формулы для опредѣленія вліянія внѣшнихъ силъ на путь выведены въ предположеніи дѣйствія силъ въ плоскости продольной симметріи рельса. Въ дѣйствительности плоскость дѣйствія силъ не соотвѣтствуетъ съ плоскостью этой симметріи, отчего вопросъ объ опредѣленіи напряженій въ рельсахъ усложняется и всѣ формулы надо считать приблизительными (напряженіе отъ крученія можно оцѣнить примѣрно въ 5 кл./мм^2 , а отъ горизонтальныхъ силъ примѣрно въ 2 кл./мм^2). При этомъ, какъ мы видѣли, въ основу всѣхъ разсужденій о напряженіяхъ въ рельсахъ и о прогибахъ ихъ опоръ положены: 1) теорія упругаго изгиба рельсовъ какъ многопролетныхъ балокъ и 2) гипотеза упругости балластнаго слоя при его сжатіи.

Первое имѣло бы мѣсто хотя бы въ самый первый моментъ вліянія груза на рельсъ, если бы шпалы всѣ были вполне одинаково и хорошо подбиты; второе предположеніе не отвѣчаетъ дѣйствительности, такъ какъ полнаго возстановленія всякаго опусканія отдѣльной шпалы упругостью балласта, въ особенности при мелкомъ матеріалѣ, ожидать нельзя.

Считаясь съ опусканіемъ шпалы не такимъ, какое было бы, если бы балластъ былъ идеально упругъ и шпалы идеально подбитыми и вполне равномерно передавали давленіе на всю площадь основанія, а желая знать наибольшее возможное опусканіе шпалы, принявъ во вниманіе имѣющіяся свойства балласта, мы должны, воспользоуясь, напр., формулой Циммерманна ¹⁾ $y = \frac{16\alpha^2 + 112\alpha + 11}{32\alpha(2\alpha + 5)} \cdot \frac{P}{D}$, введя въ нее болѣе рѣзко зависимость отъ качествъ балласта, состоянія верхней части полотна и размѣровъ шпалы, такъ какъ все это весьма отзывается на возможныхъ максимальныхъ прогибахъ. Хотя это противорѣчитъ пред-

¹⁾ См. Dr. Zimmermann. Die Berechn. des Eisb.—Oberb.

положенію объ упругости балласта, положенному въ основаніе вывода указанной формулы, но мы будемъ ближе къ истинѣ, если вмѣсто коэффиціента постели C , входящаго въ величину α , введемъ коэффиціентъ C_0 , значительно ближе характеризующій состояніе балласта, чѣмъ C ¹⁾. Если, рассматривая какой либо путь, мы вычислимъ тѣ просадки шпалъ, какія при неблагоприятныхъ обстоятельствахъ могутъ получиться подъ вліяніемъ давленія колесъ паровоза, это намъ дастъ матеріалъ для сужденія о степени пригодности данного пути для предназначаемыхъ тяжестей и для сравненія этого пути съ другими.

Что касается до напряженія въ рельсахъ, то оно существенно не измѣняется отъ того, получаютъ ли шпалы сверхъ упругихъ прогибовъ еще и остаточные, зависящіе отъ недостатковъ въ шпалахъ. Балластномъ слоѣ и полотнѣ, такъ какъ дѣйствующіе моменты, а слѣдовательно и напряженія въ разныхъ сѣченіяхъ рельса, зависятъ только отъ разницы въ просадкахъ шпалъ, различно отстоящихъ отъ колеса, производящаго давленія на рельсы. Поэтому казалось бы правильнымъ рассчитывать статическое напряженіе въ матеріалѣ рельсовъ, придерживаясь указаній теоріи упругихъ опоръ. Слѣдовательно, пользуясь формулой Циммермана $M = \frac{8\alpha + 7}{16\alpha + 40} Pl$, надлежать за C принимать коэффиціентъ постели, вычисляемый изъ наблюденій въ предположеніи, что балластъ вполне упругъ.

На совершенно вѣрной точкѣ зрѣнія стоитъ Н. Петровъ, когда говоритъ²⁾, что прогибы отъ статическаго дѣйствія грузовъ въ разныхъ мѣстахъ рельсоваго пролета слѣдуетъ брать изъ измѣреній въ пути, а не изъ вычисленій, но, за отсутствіемъ наблюденій, и самъ пользуется для нахожденія динамическихъ прогибовъ и напряженія въ рельсѣ тѣми вычисленіями, какія получаетъ по формуламъ, аналогичнымъ съ Циммермановскими и выведеннымъ Петровымъ въ предположеніи распределенія давленія колеса между 4-мя шпалами. На теоріи Петрова остановимся дольше при разсмотрѣніи тѣхъ предположеній и формулъ, какими пользуются для опредѣленія динамическаго воздѣйствія грузовъ на рельсы.

¹⁾ Пропорціональность опусканія балластнаго слоя давленію наблюдается не только въ предѣлахъ его упругости, но и далеко за ними. По опытамъ Р. Майера подобная пропорціональность имѣетъ мѣсто до давленія въ $6 \frac{\text{кл}}{\text{см}^2}$ (см. Извѣстія Собр. Ин. П. С. 1897 г. № 1).

²⁾ Записки Имп. Русс. Техн. Об-ва 1903.

Обычныя
скорости дви-
женія и опы-
ты съ элек-
тровозами.

§ 17. Разсмотрѣніе вліянія на путь фактора, несомнѣнно играющаго большую роль въ дѣлѣ устойчивости, а въ особенности прочности пути, именно скорости движенія, начнемъ съ указанія тѣхъ скоростей, съ которыми двигаются поѣзда паровозныхъ дорогъ и съ описанія опытовъ, имѣвшихъ цѣлью выяснитъ возможность примѣненія высокихъ скоростей.

Статистическія данныя о густотѣ и скорости движенія на ширококолейныхъ желѣзныхъ дорогахъ Россіи указываютъ, что средняя скорость движенія пассажирскихъ поѣздовъ всей сѣти выходитъ равной 27 верстъ въ часъ, причемъ на дорогахъ съ сильнымъ пассажирскимъ движеніемъ (не менѣе четырехъ паръ въ сутки), т. е. примѣрно на 15% всей сѣти, она равна 32 вер. въ часъ, на дорогахъ съ среднимъ пассажирскимъ движеніемъ (отъ 2 до 4 паръ въ сутки), т. е. приблизительно на 65% сѣти, она равна 25 вер. въ часъ и на дорогахъ съ слабымъ пассажирскимъ движеніемъ (менѣе 2 паръ въ сутки), т. е. примѣрно на 20% сѣти, она доходитъ до 24 вер. въ часъ. Для дорогъ Финляндіи скорость эта выходитъ 31 вер. въ часъ.

Самая большая средняя скорость движенія пассажирскихъ поѣздовъ имѣется на линіи С.-Петербургъ-Варшава: 39½ вер. въ часъ, далѣе идутъ: С.-Петербургъ-Москва 38,3, Варшава-Граница, Варшава-Александрово и Варшава-Брестъ 34,9 вер. въ часъ, Вильно-Вержболово 33,8, Москва-Курскъ 38,3, Москва-Рязань 32,4, Кіевъ - Одесса 32,3, Рязань-Козловъ 32,2 и т. д.

Самымъ скорымъ поѣздомъ въ мірѣ является „Atlantic-City Express“, находящійся въ правильномъ движеніи на линіи Philadelphia Reading. Согласно росписанію онъ проходитъ пространство въ 89,3 километр. въ теченіе 49 мин., что отвѣчаетъ средней скорости 109,3 кил. въ часъ. 21 іюля 1904 года этотъ поѣздъ прошелъ указанный путь въ 43 мин., что соответствуетъ скорости 124,8 кил. въ часъ, а не считая времени на троганіе съ мѣста, торможеніе и остановку, получимъ среднюю скорость въ пути 135 кил. въ часъ.

При пробныхъ поѣздкахъ на разныхъ дорогахъ Европы и Америки случалось достигать на короткихъ разстояніяхъ, даже не на уклонахъ, а на горизонтальныхъ площадкахъ, наибольшей скорости 144 кил. въ часъ.

Что касается величины наибольшей скорости, какую можно безопасно для пути развивать на отдѣльныхъ участкахъ линіи, она является зависящею отъ устройства верхняго строенія пути, а также отъ конструціи двигателей. Теоретическія разсужденія и многочисленныя наблюденія указываютъ, что рельсы даже не вполне прикрѣпленные къ шпаламъ удерживаются въ правильномъ положеніи давленіемъ колесъ

проходящаго по нимъ подвижнаго состава. Главная деформация есть осадка рельсовъ, зависящая отъ качества балласта, а также отъ степени правильности подбивки, которая требуетъ тщательнаго ухода, достаточнаго профиля рельсовъ и опять таки возможно высокихъ качествъ балласта.

Еслибы паровозы не имѣли частей съ переменнымъ движеніемъ, путь при движеніи менѣе разстраивался бы, такъ какъ колебаніе паровоза около поперечной оси (галлопированіе), а также боковая качка будетъ гораздо менѣе. Въ этомъ смыслѣ весьма интересны результаты опытовъ съ электровозами. При пробныхъ поѣздкахъ такого двигателя фирмы Сименсъ и Гальске въ 1902 г.¹⁾ оказалось, что при движеніи со скоростью 140—160 кил. въ часъ верхнее строеніе (изъ рельсовъ 33,4 кил. въ пог. метръ на песчаномъ балластѣ) получало значительныя деформации, причемъ при скоростяхъ болѣе 150 кил. въ часъ получались короткія, но сильныя переплетающія движенія въ самомъ пути. Изъ этого можно заключить, что и при передвиженіи съ значительными скоростями обыкновенныхъ паровозовъ чередующіяся то меньшія, то большія деформации пути только усиливаются вслѣдствіе присутствія массъ съ переменнымъ движеніемъ, главная же причина возникновенія ихъ кроется въ плохой рехтовкѣ рельсовъ. Пока осадка рельсовъ со шпалами не особенно велика, переплетающее движеніе незначительно, искривленіе рельсовъ не достигаетъ большихъ размѣровъ и движеніе является безопаснымъ. Наблюденія надъ осадкою рельса при этихъ пробныхъ поѣздкахъ дали: при скорости 80 кил. ч.— $1\frac{1}{2}$ —2 мм., при 108 кил. въ часъ осадку 2— $2\frac{1}{2}$ мм., при скорости 114 кил. въ часъ $3\frac{1}{2}$ — $5\frac{1}{2}$ мм., при скорости 145 кил. въ часъ—6—7 мм. Вообще означенные опыты убѣдили участниковъ въ томъ, что по хорошо устроенному и хорошо содержимому рельсовому пути возможно передвиженіе со скоростью вдвое большей, чѣмъ примѣняется въ настоящее время. По упомянутому верхнему строенію, по которому считается допустимою наибольшая скорость паровоза до 80 кил. въ часъ, можно безопасно развить скорость до 120 кил. въ часъ при условіи, чтобы не было въ паровозѣ такихъ переменныхъ движеній, которыя бы сильно способствовали переплетающимъ колебаніямъ. При отличномъ балластѣ и рельсахъ въ 42 кил. въ погонномъ метрѣ путь въ состояніи выдержать скорость до 160 кил. въ часъ. Судя по результатамъ опытовъ передвиженія съ большею скоростью, можно сказать, что обыкновенная рельсовая колея даже при легкихъ рельсахъ и невысокомъ качествѣ балласта гораздо прочнѣе, чѣмъ принято обыкновенно думать.

¹⁾ Журн. М. П. С. 1903 года.

При очень большихъ скоростяхъ въ указанныхъ выше опытахъ почти всѣ искривленія рельсовъ и уклоненія ихъ въ сторону оказались недалеко отъ стыковъ, гдѣ рельсы, слѣдовательно, подвергались наибольшимъ усилиямъ. Подъ стыками шпалы были расположены по возможности ближе одна къ другой и баллаستировка произведена весьма тщательно, такъ какъ опасались здѣсь осадокъ пути. Во время опытовъ самые стыки не пострадали, тогда какъ дальнѣйшія шпалы, расположенныя на худшемъ балластѣ и болѣе рѣдко, сдавали вмѣстѣ съ балластомъ. Этимъ и объясняется появленіе упомянутыхъ искривленій, начинавшихся обыкновенно около третьей, четвертой шпалы отъ стыка.

Опредѣленіе
вліянія ско-
рости на
прогибъ и
напряженія
рельсовъ.

§ 18. Выяснить вліяніе скорости движенія поѣзда на деформаціи верхняго строенія, т. е. на величину погруженія шпалъ въ балластъ, а также на напряженіе въ рельсахъ представляется весьма труднымъ, такъ какъ теорія въ состояніи освѣтить этотъ вопросъ лишь при условіи цѣлаго ряда предположеній, ставящихъ изслѣдованіе далеко отъ дѣйствительности. Наблюденія и умозрѣнія не могутъ охватить всей совокупности весьма сложныхъ факторовъ и самыхъ разнообразныхъ условий, въ какихъ находится путь въ различныхъ его точкахъ. Всего проще написать зависимость прогибовъ и дѣйствующихъ моментовъ отъ величины скорости, если учесть вліянія центробѣжной силы, развивающійся когда колесо движется по прогнувшемуся между шпалами рельсу, а вліяніе прочихъ добавочныхъ усилий сверхъ статическаго дѣйствія груза, передаваемого колесомъ, отбросить. Такъ составлена формула для M_d , предложенная Инженернымъ Совѣтомъ для расчета напряженій въ рельсахъ при разныхъ скоростяхъ:

$$M_d = \frac{8\alpha + 7}{16\alpha + 40} \cdot Pl : \left[1 - \frac{8\alpha + 7}{16\alpha + 40} \cdot \frac{Pl}{EJg} v^2 \right].$$

Подставивъ вмѣсто M его значеніе $\frac{RJ}{\varepsilon}$ и выраженіе для α , найдемъ напряженіе въ рельсахъ при движеніи

$$R_d = \frac{9 \cdot \frac{12EJ}{abCl^3} + 7}{18 \cdot \frac{12EJ}{abCl^3} + 40} \cdot \frac{P}{9 \cdot \frac{12EJ}{abCl^3} + 7} \cdot \frac{l_2}{J} \cdot \frac{lv^2}{18 \cdot \frac{12EJ}{abCl^3} + 40 + EJg} \cdot P.$$

Если вставлять сюда для разныхъ размѣровъ верхняго строенія пути величину для v , соотвѣтствующую наибольшимъ практикуемымъ

ско остямъ, получится R_d около $20 \frac{\text{БЛ}}{\text{ММ}^2}$.

Отсюда получило начало требованіе опредѣлять наибольшую допускаемую скорость въ пути для даннаго верхняго строенія, исходя изъ предыдущей формулы, при условіи предѣльнаго $B_d = 20 \frac{\text{к.л.}}{\text{мм}^2}$.

Получается

$$V_{\max} = \sqrt{\frac{4000 \left(\frac{108 EJ}{abCl^3} - 20 \right) - \left(\frac{108 EJ}{abCl^3} + 7 \right) \frac{zl^2}{EgJ^2} P}{2000 \left(\frac{108 EJ}{abCl^3} + 7 \right) \frac{l}{EJg} \cdot P}}.$$

Для скоростей больше 60 верстъ въ часъ, въ виду несоотвѣтствія получаемыхъ результатовъ съ указаніями практики признано тѣмъ же Инженернымъ Совѣтомъ подставлять въ формулу предѣльное напряженіе не 20, а 25 к.л. на мм².

Формула эта нисколько не отвѣчаетъ истинѣ и едва ли можетъ служить даже какъ эмпирическая формула, близость къ дѣйствительности которой достигается введеніемъ коэффициентовъ (въ настоящемъ случаѣ предѣльнымъ значеніемъ R_d), опредѣленныхъ на основаніи многочисленныхъ опытовъ. Дѣйствительно, не выяснено хотя бы приблизительно, какую ошибку дѣлаемъ, откидывая вліяніе повышенія или пониженія оси, отъ которыхъ зависитъ колебаніе рессоръ, передающихъ грузъ на колеса, вліяніе инерціи рельсовъ и шпаль, колеблющихся при движеніи поѣзда, вліяніе вертикальныхъ и горизонтальныхъ качаній паровоза, вліяніе неровностей бандажей и рельсовъ и т. д. Наконецъ прогибъ рельса между шпалами совсѣмъ не такъ великъ, какъ это предположено по указанной формулѣ (Циммермана—Винклера). Многіе считаютъ ¹⁾, что во время движенія поѣзда центробѣжная сила вовсе не проявляется, такъ какъ колесо не успѣваетъ, пока пройдетъ отъ шпалы до шпалы, опуститься настолько, чтобы изогнуть рельсъ. Астъ предполагаетъ даже, что вліяніе вертикальной составляющей центробѣжной силы уменьшается съ увеличеніемъ скорости поѣзда.

Выше было указано, что динамическое давленіе на рельсы оцѣнивается въ $2\frac{1}{4}$ раза. Такъ что для приближительнаго подсчета можно найти прогибъ отъ динамическаго дѣйствія, если вычислить пониженіе шпалы при статическомъ дѣйствіи и помножить результатъ на $2\frac{1}{4}$.

На самомъ дѣлѣ опорныя сопротивленія шпаль, а также моменты, дѣйствующіе въ рельсѣ какъ балкѣ, а слѣдовательно прогибъ шпаль и напряженіе въ матеріалѣ рельсовъ при динамическомъ дѣйствіи ко-

¹⁾ См. статью А. Чернявскаго въ Желѣзнодорож. Дѣлѣ 1903 г. № 1 и выводъ Н. Петрова (Записки И. Р. Т. О. 1903 г.); послѣдній не вполне точенъ. Стецевичъ считаетъ $P_d = 1,7 P_s$.

лесь ¹⁾ меньше статическихъ, взятыхъ $2\frac{1}{4}$ раза. Объясняется это тѣмъ, что при вращеніи корпуса паровоза вокругъ поперечной горизонтальной оси (при скачкѣ паровоза), а также при вращеніи его около оси, проходящей черезъ центръ тяжести паровоза и образующей нѣкоторый уголъ съ его продольной осью (при боковой качкѣ) получаются весьма неравномѣрныя давленія отдѣльныхъ колесъ, а такъ какъ на значеніе опорныхъ сопротивленій и дѣйствующихъ моментовъ влияетъ не только величина груза, находящагося надъ точкой, для которой ихъ опредѣляемъ, но и сосѣднихъ грузовъ, то, хотя бы считать, что первый грузъ при движеніи увеличился въ $2\frac{1}{4}$ раза, опорныя сопротивленія и моменты не увеличатся въ томъ же отношеніи, такъ какъ прочіе грузы не возрастутъ въ $2\frac{1}{4}$ раза, а иные даже уменьшатся.

Истинное отношеніе динамическаго и статическаго прогиба шпалы вывести изъ наблюденій весьма затруднительно.

Упомяну здѣсь объ опытахъ, произведенныхъ мною съ цѣлью выяснить, какою, примѣрно, статическою нагрузкою, можно было бы замѣнить вліяніе поѣзда, прошедшаго по данному мѣсту рельса. Подобные опыты, конечно, не могутъ дать точныхъ результатовъ, такъ какъ въ лучшемъ случаѣ, при возможно тщательномъ выполненіи ихъ, можно выяснить силу, производящую при статическомъ дѣйствіи работу, эквивалентную съ дѣйствіемъ поѣзда на рельсы. Подъ проходящій поѣздъ была положена на плоскую часть головки рельса мѣдная копейка. Отъ дѣйствія колесъ паровоза, тендера и вагоновъ (поѣздъ былъ пассажирскій, осей паровозныхъ 4, тендерныхъ 4, вагонныхъ около 80, мѣсто испытанія—вблизи одной станцій С. П. Б.—Варшавской ж. д., скорость движенія поѣзда около 40 вер. въ часъ, давленіе паровознаго колеса можно считать въ 7 тоннъ)—копейка сплюснлась и измѣнила свои размѣры: первоначальная толщина была 1,1 мм., она сдѣлалась 0,75 мм., первоначальный діам. былъ 21,5 мм., онъ сдѣлался въ среднемъ 23 мм. Подобная копейка тѣхъ же первоначальныхъ размѣровъ была подложена подъ прессъ Амслера и оказалось, что такая же деформация произошла отъ спокойнаго давленія на копейку въ 35 тоннъ. Желая выяснить, въ какой мѣрѣ вліяетъ повторность дѣйствія на окончательную деформацию, была подобная же монета подвержена дѣйствію статической нагрузки вдвое меньшей, т. е. около 17 тоннъ, приложенной и снятой послѣдовательно 10 разъ. Послѣ 10 нагрузки оказались размѣры у монеты такими же, какъ у той, которая была снята съ пути послѣ прохода поѣзда. Отсюда выводимъ заключеніе, что дѣйствіе прохода колесъ поѣзда

¹⁾ Холодецкій. Исслѣдованіе вліянія вѣшнихъ силъ на верхнее строеніе желѣзнодорожнаго пути (Инженеръ 1897 г.).

въ числѣ равномъ количеству его осей можно замѣнить статическимъ дѣйствіемъ одного груза, въ 5 разъ превосходящаго по величинѣ давленіе паровознаго колеса. Если принять, что дѣйствіе всѣхъ осей паровоза и тендера равно пятерному дѣйствію самой тяжелой оси паровоза, а дѣйствіе вагонныхъ колесъ приравнять дѣйствію еще пяти такихъ же колесъ, получимъ, что, еслибы 10 такихъ грузовъ, замѣняющихъ поѣздъ, были приложены съ весьма 'малой скоростью, то потребовалось бы для одинаковыхъ результатовъ увеличить при статическомъ дѣйствіи всѣ грузы въ $2\frac{1}{2}$ раза.

Попробуемъ сравнить предѣльное упругое напряженіе стали рельсовъ съ тѣмъ, какое допускается при провѣркѣ прочности рельсовъ по одной статической формулѣ.

На основаніи теоретическихъ изслѣдованій и практики службы рельсовъ выработались техническія узаконенія, — какое допускаемое напряженіе слѣдуетъ принимать въ рельсовой стали, если дѣлается по-вѣрка прочности рельсовъ только по формулѣ на статическій изгибъ:

$$R = \frac{8\alpha + 7}{16\alpha + 40} E \cdot \frac{I}{J} \quad (\text{Циммермана}).$$

Для русскихъ рельсовъ, которые обязаны имѣть временное сопротивленіе $\geq 65 \frac{\text{кг}}{\text{мм}^2}$ (предѣлъ упругости можно считать около $\frac{1}{2}$ временнаго сопротивленія, т. е., положимъ, $32 \frac{\text{кг}}{\text{мм}^2}$), напряженіе, исчисленное по формулѣ Циммермана, допускается по правиламъ Министерства Путей Сообщенія не свѣз $14 \frac{\text{кг}}{\text{мм}^2}$, т. е. какъ бы принимаетъ, что динамическое дѣйствіе грузовъ никогда не можетъ превзойти статическое болѣе, чѣмъ $\frac{32}{14}$, въ $2\frac{1}{3}$ раза. Заграницей допускаютъ при тѣхъ же условіяхъ только $13 \frac{\text{кг}}{\text{мм}^2}$. Можетъ быть соотношеніе между предѣломъ

пропорціональности и временнымъ сопротивленіемъ стали тамъ вѣсколько иное, но во всякомъ случаѣ, въ виду болѣе высокихъ нормъ тамъ для крѣпости матеріала рельсовъ, надо заключить, что максимумъ отношенія между динамическимъ и статическимъ вліяніемъ груза на верхнее строеніе пути заграницей считаютъ больше, чѣмъ $2\frac{1}{3}$. Быть можетъ значительную роль играть здѣсь величина скорости движенія поѣздовъ, которая заграницей больше. Во всякомъ случаѣ, казалось бы необходимымъ считать для среднихъ скоростей отношеніе, о которомъ рѣчь, не менѣе $2\frac{1}{2}$. Тогда мы можемъ быть увѣрены, что всѣ случайныя воздѣйствія на рельсы, удары въ стыкахъ, боковые сдвиги, вращательныя

усилія могутъ дѣйствовать,—сумма всѣхъ вліяній не подниметъ статическаго дѣйствія выше предѣла, нами намѣченнаго.

На существованіе рельсовъ, какъ оказалось, вліяетъ не столько обладаніе высокимъ сопротивленіемъ разрыву, сколько главнымъ образомъ жесткость какъ матеріала, такъ и профиля рельсовъ. Вотъ почему по новѣйшимъ техническимъ условіямъ на поставку рельсовъ, предлагается приѣмку производить исключительно по результатамъ ударной пробы, испытаніе же образцовъ рельсовой стали на разрывъ сдѣлается необязательнымъ. Достаточная жесткость рельсовъ должна дѣлать то, что матеріалъ ихъ не будетъ сильно напрягаться; онъ, можетъ быть, получить напряженіе близкое къ $2\frac{1}{2}$ раза взятому статическому, но рельсы мало прогнутся, сумма грузовъ колесъ распредѣлится почти равномерно на поверхность балласта и полотна, занятую подвижнымъ составомъ, поэтому не можетъ быть рѣчи объ углубленіи шпаль въ балластъ равномъ $2\frac{1}{2}$ статическихъ прогибовъ.

Методъ Н. Петрова опредѣленія динамическихъ прогибовъ и напряженій въ рельсахъ.

§ 19. Казалось бы, что напряженіе въ матеріалѣ рельсовъ при динамическомъ дѣйствіи грузовъ слѣдовало бы опредѣлять по тѣмъ же формуламъ, какъ и статическое напряженіе, и только результаты множить на 2 при скоростяхъ незначительныхъ, напримѣръ до 50 вер. въ часъ, и на $2\frac{1}{2}$ при большихъ скоростяхъ и допускать тотъ предѣлъ напряженій, какой соотвѣтствуетъ предѣлу упругости даннаго матеріала. Послѣдній предѣлъ, если произведены испытанія рельсовъ на ударъ, слѣдуетъ вычислять по формулѣ стрѣлки прогиба, пользуясь цифрами прогибовъ при испытаніи; полученный такимъ образомъ предѣлъ пропорціональности будетъ вполне соотвѣтствовать твердости даннаго матеріала и жесткости профиля.

Для опредѣленія пригодности даннаго пути для движенія съ тѣми или иными скоростями мало убѣдиться въ томъ, что рельсы не имѣютъ шансовъ лопаться, надо узнать, не будутъ ли получаться слишкомъ большія осадки шпаль и всего балласта. Раньше, чѣмъ выбрать самый подходящій методъ подсчета динамическихъ просадокъ шпаль, остановимся подробнѣе на работѣ Петрова о динамическихъ вліяніяхъ на рельсы.

Вообще, конечно, увеличеніе поступательной скорости паровоза вызываетъ увеличеніе осадокъ шпаль и напряженій въ балластѣ уже потому, что чѣмъ больше скорость, тѣмъ сильнѣе сказывается вліяніе силъ инерціи противовѣсовъ, неправильностей профиля бандажей и выбоинъ на рельсахъ и т. д. Новѣйшія изслѣдованія не подтверждаютъ однако весьма распространеннаго мнѣнія, что движеніе отзывается на верхнемъ строеніи пути пропорціонально квадрату поступательной скорости.

Н. Петровъ ¹⁾ указываетъ, что ростъ этого вліянія идетъ не пропорціонально даже и скорости, а значительно слабѣе. Изъ сопоставленія результатовъ вычисленій по предложеннымъ имъ формуламъ Н. Петровъ выводитъ, между прочимъ, что рельсы, допускающіе движеніе со скоростью 100 верстъ въ часъ, допускаютъ съ тою же степенью безопасности движеніе со скоростью около 125 верстъ въ часъ. Дальше онъ указываетъ, что увеличеніе коэффиціента постели или увеличеніе подшвы шпаль самымъ существеннымъ образомъ служить къ уменьшенію напряженій въ рельсѣ и что улучшеніе пути въ этомъ отношеніи несравненно важнѣе и полезнѣе введенія рельсовъ болѣе тяжелого типа.

Конечно всѣ выводы эти, пока мы не признаемъ самой теоріи правильною, являются мало авторитетными, но Н. Петровъ увѣряетъ, что результаты наблюденій дѣйствительно вполне подтверждаютъ эти выводы.

Авторъ останавливается на предположеніи, что спокойная нагрузка колеса распредѣляется на четыре шпалы. Изъ многихъ опытовъ, между прочимъ инженера Васютынскаго, можно убѣдиться, что нагрузка черезъ рельсъ передается шести шпаламъ, но наибольшая доля нагрузки принимается четырьмя средними, а на двѣ крайнія приходится не болѣе 0,1 всего груза.

Н. Петровъ находитъ обычнымъ способомъ прогибъ четырехъ шпаль, которыя пропорціонально опорнымъ сопротивленіямъ, причемъ вмѣсто коэф-

фиціента C пользуется величиной $K = 0,89 \frac{ab}{2} C$, показывающей грузъ, который надо приложить къ полушпаль для ея опусканія на 1 см.

Вводя величину $A = \frac{EJ}{HL}$, ³, находитъ (чер. 14) прогибъ шпаль при нахожденіи груза въ среднемъ пролетѣ:

$$Y_1 = \frac{288A^2 + 54A - (216A^2 + 186A + 7)\delta + (108A + 12)\delta^2 + (12A + 5)\delta^3}{720A^2 + 336A + 15} \cdot P,$$

$$Y_2 = \frac{216A^2 + 192A + 15 - (72A^2 - 42A + 3)\delta - (144A + 27)\delta^2 - (36A + 15)\delta^3}{720A^2 + 336A + 15} \cdot P,$$

$$Y_3 = \frac{144A^2 + 126A + 15 - (72A^2 - 42A + 3)\delta - (36A - 18)\delta^2 - (36A + 15)\delta^3}{720A^2 + 336A + 15} \cdot P,$$

$$Y_4 = \frac{72A^2 - 36A + (216A^2 + 6A - 2)\delta + (72A - 3)\delta^2 + (12A + 5)\delta^3}{720A^2 + 336A + 15} \cdot P.$$

¹⁾ Н. Петровъ. О различныхъ вліяніяхъ на напряженія въ рельсѣ. Записки И. Русск. Техн. Общества 1903 г.

Ордината упругой кривой любой точки, отстоящей отъ средней шпалы на δL , найдется изъ уравненія $EJ \frac{d^2 x}{dx^2} = -Y_4(3L - \delta L) - Y_3(2L - \delta L)$.

Послѣ двойного интегрированія и нѣкоторыхъ преобразованій:

$$y = \frac{P}{6KA} \left\{ [-6A - 6 + (6A + 11)\delta - 6\delta^2 + \delta^3] Y_4 + [12A - 1 + (6A + 3)\delta - 3\delta^2 + \delta^3] Y_3 \right\}$$

Изъ рассмотрѣнія числовыхъ результатовъ этихъ формулъ выходитъ, что при большихъ значеніяхъ A болѣе значительная часть груза передается на двѣ крайнія опоры, поэтому выгоднѣе, чтобы рельсъ былъ жесче, L меньше и K меньше. Дѣйствующій моментъ въ рельсѣ тѣмъ больше, чѣмъ больше A , поэтому увеличеніе момента инерціи рельса, уменьшеніе коэффиціента постели и уменьшеніе разстоянія между шпалами влечетъ за собой увеличеніе изгибающаго момента въ рельсѣ.

Что касается прогибовъ рельса въ промежуткахъ между шпалами, то они весьма малы; даже въ худшемъ случаѣ, т. е. при малыхъ значеніяхъ A и C , доходятъ только до $1/3$ мм.

Отсюда видно, что, желая обнаружить вліяніе скорости на прогибы шпалъ и напряженія въ рельсѣ, необходимо выяснитъ значеніе неровностей на бандажахъ колесъ и на рельсахъ, такъ какъ при значительной скорости движенія эти неровности весьма отзываются на работѣ верхняго строенія пути, будучи по абсолютной величинѣ нерѣдко значительно больше прогибовъ рельсовъ между шпалами.

Выпуклости и впадины на длинѣ рельсовъ часто достигаютъ до $1/3$ мм., а въ стыкахъ разница высотъ смежныхъ рельсовъ бываетъ въ $1/2$ и больше мм. Впадины же и эксцентриситетъ колесъ достигаютъ нерѣдко 5 мм. Для нахожденія вліянія динамической нагрузки H . Петровъ составляетъ уравненіе вертикальнаго движенія колеса подъ вліяніемъ давленія рессоры сверху и рельса снизу; такъ какъ эти давленія не являются равными, то получается ускореніе $\frac{d^2 y}{dx^2}$ и, если назовемъ вѣсъ колеса q , вѣсъ выше лежащихъ частей qm и сопротивленіе рельса P , то получимъ уравненіе вида $\frac{q}{g} \frac{d^2 y}{dt^2} = q(1+m) - P$.

Называя скорость поступательнаго движенія $v = \frac{x}{t}$, имѣемъ

$$\frac{dy}{dx} = \frac{dy}{dt} \cdot \frac{dt}{dx} \text{ и } \frac{dt}{dx} = \frac{1}{v}, \text{ слѣд. } \frac{dy}{dx} = \frac{1}{v} \cdot \frac{dy}{dt} \text{ и } \frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{1}{v^2} \cdot \frac{d^2 y}{dt^2} \text{ и уравненіе движенія } \frac{q}{g} \frac{d^2 y}{dt^2} = \frac{q}{g} \frac{d^2 y}{dt^2} \frac{1}{v^2} =$$

$=q(1+m)P\dots(7)$ Сдѣлавъ предположеніе, что давленіе подвижного состава передается на 4 шпалы и что имѣемъ дѣло съ упругимъ опусканіемъ опоръ, получимъ такое значеніе для P , при которомъ очень трудно произвести интегрированіе уравненія (7).

Въ виду этого Н. Петровымъ предложенъ способъ получать значеніе y_i для границъ достаточно мелкихъ промежутковъ пролета между шпалами (напримѣръ раздѣленнаго на 20 частей), исходя изъ извѣстныхъ напередъ значеній h_i , отвѣчающихъ статическому дѣйствию груза. Вводя при этомъ вліяніе неровностей на рельсы (выступы на бандажѣ и эксцентриситетъ его могутъ быть приравнены неровностямъ рельса), положимъ, что высота выступа въ данномъ мѣстѣ y' , пониженіе самага рельса, которое не вліяетъ на величину давлнія рессоры $\bar{y}$, тогда все опусканіе, вызывающее измѣненіе въ давленіи рессоръ, равно $y - \bar{y} - y'$; нагрузка на ось измѣнится на $mq \frac{y - \bar{y} - y'}{l}$, если l есть стрѣла прогиба рессоры подъ грузомъ mq . Полное давленіе рессоры на ось $qm - mq \cdot \frac{y - \bar{y} - y'}{l} = qm \cdot \frac{l - y - \bar{y} + y'}{l}$. Сопротивленіе рельса при динамическомъ опусканіи на y найдемъ, исходя изъ величины опусканія на h нагрузки на рельсъ $(1+m)q$. Сопротивленіе это равно $(1+m) \cdot q \frac{y}{h}$.

Уравненіе движенія будетъ $\frac{q}{g} \cdot \frac{d^2(y - y')}{dt^2} = q + qm \cdot \frac{l - y + y' + \bar{y}}{l} - (1+m) \frac{y}{h}$.

Интегрированіе для промежутка между y_{i-1} и y_i , гдѣ подинтегральные функціи можемъ замѣнить среднимъ изъ значеній этихъ функцій, приводитъ къ уравненіямъ:

$$y_i = \frac{y_{i-1} + y'_i - y'_{i-1} + \frac{a}{v} \omega_{i-1} + g \frac{(1+m)a^2}{4v^2} \left[2 - \frac{m}{(1+m)} (y_{i-1} - 2\bar{y} - y'_i - y'_{i-1}) \frac{y_{i-1}}{h_{i-1}} \right]}{1 + g \frac{(1+m)}{4} \cdot \frac{a^2}{v^2} \left\{ \frac{m}{m+1} \cdot \frac{1}{l} + \frac{1}{h_i} \right\}}$$

$$\omega_i = \omega_{i-1} + \frac{(1+m)}{2} \cdot \frac{a}{v} \left\{ 2 - \frac{m}{(1+m)l} (y_i + y_{i-1} - 2\bar{y} - y'_i - y'_{i-1}) \frac{y_i}{h_i} - \frac{y_{i-1}}{h_{i-1}} \right\}.$$

Относительно дѣйствительной величины y' замѣтимъ, что она является алгебраической суммой выступа на рельсѣ η и выступа за правильную поверхность тѣла вращенія на колесѣ η ; при этомъ η слѣдуетъ считать достигающимъ 2 мм., такъ какъ, хотя на самой длинѣ рельса

разницы по горизонту головки рѣдко превосходятъ $1\frac{1}{2}$ мм.; но на стыкахъ имѣются уступы до 2 мм. ¹⁾ Относительно γ' можно сказать, что на многихъ дорогахъ колеса поступаютъ въ переточку только послѣ достиженія впадинами глубины 5 мм.

Изъ таблицъ, составленныхъ Н. Петровымъ на основаніи приведенныхъ формулъ ²⁾ и дающихъ для послѣдовательныхъ десяти точекъ на M нѣсколькихъ пролетахъ между шпалами: h_i, y_i, ω_i и $\frac{Pl}{4}$, можно вывести

слѣдующія заключенія:

Величина $A = \frac{EJ}{Kl^3}$, характеризующая моментъ инерціи рельса, разстояніе шпалъ и сопротивляемость постели, вліяетъ при статическомъ дѣйствіи груза такимъ образомъ, что прогибъ тѣмъ менѣе, чѣмъ A больше; такъ напримѣръ при $A = 1/4$ (что соотвѣтствуетъ примѣрно типу рельса въ $24\frac{1}{2}$ фунта въ погонномъ футѣ при $l = 70$ см.) прогибъ отъ груза въ 10 тоннъ по серединѣ пролета между шпалами при $K = 10000$ (или c около 3)—равенъ 5,6 мм. (а на опоры 5,3), а при $A = 2$ (соотвѣтствуетъ рельсу $31\frac{1}{2}$ ф. въ п. ф. и l около 50 см.), прогибъ по серединѣ пролета при томъ же K равенъ 3,3 (а на опорѣ больше, именно 3,5 мм.). Гораздо больше, чѣмъ отъ A , зависитъ опускааніе пути отъ величины K . Если эту величину сдѣлать 20000 вмѣсто 10000, прогибы уменьшаются вдвое, если сдѣлать 30000, то втрое и т. д. Прогибы рельса между шпалами настолько ничтожны и меньше случайныхъ неровностей рельса, что слѣдуетъ рельсъ при движеніи по немъ поѣзда считать за прямую линію.

При динамическомъ дѣйствіи прогибы возрастаютъ сравнительно съ статическими немного,—при самомъ маломъ A всего на 12%.

Что касается напряженія въ матеріалѣ рельса, то при статическомъ дѣйствіи оно зависитъ отъ A ; такъ при $A = 1$ (и $K = 10000$)

$$R = 18 \frac{\text{кл}}{\text{мм}}^2 \text{ а при } A = 2 \text{ оно равно } 12 \text{ кл. на. мм.}^2$$

Увеличеніе K также вліяетъ на ослабленіе напряженія въ рельсѣ, такъ — увеличеніе K вдвое уменьшаетъ R примѣрно на 30%.

При динамическомъ дѣйствіи напряженіе почти не разнится отъ статическаго, т. е. получается результатъ, что, желая уменьшить напряжение въ рельсѣ, мы можемъ прибѣгнуть къ увеличенію его профиля,

¹⁾ Стецевичъ. О службѣ стальныхъ рельсовъ Ж. М. П. С. 1889 г.

²⁾ Принявъ во вниманіе поправки, внесенныя І. Стецевичемъ (Желѣзнодорожное Дѣло 1904 г.).

но можно вмѣсто этого увеличить коэффициентъ постели. Такъ напримеръ того же уменьшенія можемъ достигнуть замѣной рельсовъ типа 18 фун. въ п. ф. на рельсы 24½, въ п. ф. и замѣной балласта съ $K=10000$ на балластъ съ $K=20000$.

Обращаясь къ выясненію вліянія могущихъ быть на рельсѣ выступовъ и сбитыхъ частей на ободѣ колеса, видимъ, что первые, при величинѣ до 0,3 мм., вліяютъ въ общемъ незначительно на напряженія въ рельсахъ, увеличивая ихъ примѣрно на 5%. Въ случаѣ впадины на колесѣ или отступленія его поверхности катанія отъ формы тѣла вращения на 2 мм., напряжение въ рельсѣ при скоростяхъ движенія свыше 40 вер. въ часъ возрастаетъ при разныхъ значеніяхъ A почти на 100%.

При увеличеніи K вдвое напряжение въ рельсѣ падаетъ примѣрно на 30%. При малыхъ скоростяхъ (до 40 вер. въ часъ) напряженія отличаются лишь немногимъ отъ статическихъ, а при возрастаніи скоростей свыше извѣстнаго предѣла увеличенныя напряженія при различныхъ скоростяхъ отличаются между собою незначительно. Это даетъ поводъ заключить, что рельсы, допускающіе движеніе со скоростью 100 вер. въ часъ, допускаютъ съ тою же степенью безопасности движеніе и со скоростью 125 вер. въ часъ.

Абсолютныя величины напряженія въ рельсахъ при колесахъ неправильнаго вида показываютъ, въ какой мѣрѣ недопустимо оставлять въ быстроходныхъ паровозахъ колеса со впадинами, доходящими по глубинѣ до 2 мм.

Всѣ эти выводы вытекаютъ изъ теоріи, принятой Н. Петровымъ. Если они подтверждаются практикой, это можетъ явиться указаніемъ, что теорія это, хотя не охватывающая всѣхъ факторовъ воздѣйствія на путь при движеніи по немъ грузовъ, но принимающая во вниманіе главнѣйшіе изъ нихъ, является пріемлемой для вывода болѣе или менѣе близкихъ къ дѣйствительности значеній напряженій въ рельсѣ и просядокъ пути подъ поѣздами.

Поэтому постараемся разсмотрѣть, насколько результаты подсчетовъ по формуламъ Н. Петрова не противорѣчатъ одинъ другому и противрѣченныя практикой положенія.

Чтобы убѣдиться въ томъ, что полученные Петровымъ Результаты, касающіеся прогибовъ и напряженій при статическомъ дѣйствіи груза, не отличаются отъ выводовъ Циммермана, представлены въ нижеслѣдующей таблицѣ числовыя величины осадокъ шпаль и напряженій R_s по формуламъ Циммермана и Петрова для главныхъ типовъ рельсовъ русскихъ желѣзныхъ дорогъ.

Сверхъ того въ послѣднемъ столбцѣ таблицы приведено отношеніе между напряженіями, полученными Петровымъ для скорости 70 кил. въ часъ и при спокойномъ дѣйствіи груза.

Приняты во вниманіе слѣдующіе типы рельсовъ:

Вѣсъ фун- товъ въ по- гонномъ футѣ.	Моментъ инерціи J.	Моментъ со- противленія W.	Расстояніе между шпалами l.	Коэффи- ціентъ балл. C.	$\frac{k}{p} = \alpha = 6A =$ $\frac{12EJ}{0,89abCl^3}$
32 $\frac{1}{2}$	1476	219	80	2	4,76
				4	2,38
				8	1,19
			74	4	3,28
				2	8,30
				4	4,15
				8	2,08
			69	4	5,11
28 $\frac{1}{2}$	1223	180	80	2	3,94
				4	1,97
				8	0,99
			74	4	2,72
				2	6,86
				4	3,43
				8	1,72
			69	4	4,32
24 $\frac{1}{3}$	925	144	80	2	2,98
				4	1,49
				8	0,75
			74	4	2,06
				2	5,20
				4	2,60
				8	1,30
			69	4	3,20
24 ^r	736	119	80	2	3,28
				4	1,64
				8	0,82
24 ^u (Спб.)	810	132	74	2	4,56
				4	2,28
				8	1,14
22 $\frac{1}{2}$	707	118	80	4	1,57
				2	2,98
			74	4	1,99
				8	1,00
			69	4	2,45
21 $\frac{1}{3}$	626	109	80	4	1,39
			74	4	1,76
18	469	87	74	2	2,64
				4	1,32
				8	0,66

Rs въ килогр. на кв. сант. Р давленіе ко- леса въ кл.	$Y_s = \frac{2}{4z+23}$ $= \frac{0,89abc+16a+}{+40}$	у Петрова	Rs по Петрову.	R ₇₀ по Петрову	Отношеніе $\frac{R_{70}}{Rs}$
0,158P.	0,068P/1000	0,078P/1000	0,158P.	0,355P.	2,2
0,136P.	0,039P/1000	0,046P/1000	0,131P.	0,350P.	2,6
0,114P.	0,022P/1000	0,027P/1000	0,112P.	0,289P.	2,6
0,132P.	0,037P/1000	0,043P/1000	0,131P.	0,323P.	2,5
0,144P.	0,062P/1000	0,071P/1000	0,143P.	0,298P.	2,1
0,128P.	0,035P/1000	0,041P/1000	0,126P.	0,303P.	2,4
0,109P.	0,020P/1000	0,024P/1000	0,107P.	0,261P.	2,4
0,129P.	0,034P/1000	0,039P/1000	0,125P.	0,287P.	2,2
0,185P.	0,071P/1000	0,082P/1000	0,182P.	0,371P.	2,
0,157P.	0,041P/1000	0,048P/1000	0,156P.	0,362P.	2,3
0,132P.	0,023P/1000	0,023P/1000	0,131P.	0,300P.	3,
0,153P.	0,039P/1000	0,045P/1000	0,152P.	0,336P.	2,2
0,170P.	0,064P/1000	0,074P/1000	0,169P.	0,314P.	1,9
0,149P.	0,037P/1000	0,042P/1000	0,147P.	0,319P.	2,2
0,126P.	0,021P/1000	0,025P/1000	0,126P.	0,271P.	2,2
0,145P.	0,035P/1000	0,040P/1000	0,144P.	0,305P.	2,1
0,217P.	0,076P/1000	0,088P/1000	0,218P.	0,390P.	1,8
0,183P.	0,043P/1000	0,050P/1000	0,184P.	0,379P.	2,1
0,155P.	0,024P/1000	0,030P/1000	0,155P.	0,320P.	2,1
0,179P.	0,041P/1000	0,048P/1000	0,176P.	0,361P.	2,1
0,203P.	0,067P/1000	0,078P/1000	0,203P.	0,375P.	1,7
0,175P.	0,039P/1000	0,045P/1000	0,173P.	0,341P.	2,
0,147P.	0,022P/1000	0,027P/1000	0,145P.	0,288P.	2,
0,171P.	0,037P/1000	0,043P/1000	0,170P.	0,323P.	1,9
0,242P.	0,074P/1000	0,086P/1000	0,239P.	0,385P.	1,6
0,204P.	0,042P/1000	0,050P/1000	0,203P.	0,374P.	1,8
0,172P.	0,023P/1000	0,029P/1000	0,171P.	0,311P.	1,8
0,216P.	0,069P/1000	0,080P/1000	0,216P.	0,360P.	1,7
0,184P.	0,040P/1000	0,047P/1000	0,182P.	0,353P.	1,9
0,155P.	0,022P/1000	0,027P/1000	0,154P.	0,295P.	1,9
0,204P.	0,043P/1000	0,050P/1000	0,203P.	0,378P.	1,9
0,221P.	0,076P/1000	0,088P/1000	0,221P.	0,390P.	1,8
0,200P.	0,041P/1000	0,048P/1000	0,198P.	0,362P.	1,8
0,168P.	0,023P/1000	0,028P/1000	0,166P.	0,300P.	1,8
0,196P.	0,039P/1000	0,046P/1000	0,194P.	0,344P.	1,8
0,213P.	0,044P/1000	0,053P/1000	0,213P.	0,384P.	1,8
0,209P.	0,042P/1000	0,049P/1000	0,209P.	0,360P.	1,8
0,291P.	0,077P/1000	0,090P/1000	0,289P.	0,402P.	1,4
0,243P.	0,044P/1000	0,054P/1000	0,245P.	0,387P.	1,6
0,207P.	0,024P/1000	0,030P/1000	0,208P.	0,327P.	1,6

Всѣ цифры таблицы относятся къ величинѣ давленія колеса въ 7 тоннъ. Хотя теперь вводится въ Россіи требованіе разсчитывать верхнее строеніе на нагрузку паровознаго колеса въ 10 тоннъ, но для общихъ соображеній можемъ и впредь пользоваться узаконеннымъ до сихъ поръ давленіемъ паровознаго колеса въ 7 тоннъ.

Заслуга Петрова состоитъ въ томъ, что, откидывая негодную гипотезу, будто все приращеніе напряженія въ рельсѣ при движеніи груза зависитъ отъ центробѣжной силы, происходящей отъ пробѣга колеса по вогнутому рельсу, онъ сдѣлалъ попытку опредѣлить прогибъ и напряженія при различныхъ скоростяхъ, при чемъ принимаетъ динамическое напряженіе равнымъ статическому, умноженному на отношеніе прогибовъ данной точки рельса при томъ и другомъ дѣйствіи груза

$R_d = R_s \cdot \frac{y_i}{h_i}$. Изъ приведенныхъ въ его статьѣ таблицъ оказывается, что y_i очень мало отличается отъ h_i , а слѣдовательно напряженіе при динамическомъ дѣйствіи груза мало превосходитъ статическое напряженіе. Но послѣднее относится только къ идеальному случаю, когда поверхность рельса совершенно гладка и соприкасающееся съ нимъ колесо ограничено вполне правильной и идеально центрированной цилиндрической или конической поверхностью. Если ввести вліяніе неровностей рельса (которыя Петровъ считаетъ не выше 0,3 мм.) и особенно углубленій на колесахъ или эксцентриситетъ его (что можно опѣнить равносильнымъ неровности на рельсѣ высотой до 2 мм.), получимъ напряженія при значительныхъ скоростяхъ движенія (примѣрно 60 вер. въ часъ), превосходящія въ два раза статическія напряженія. При этомъ оказывается, что дальнѣйшее увеличеніе скорости (до 125 вер. въ часъ) уже очень мало увеличиваетъ полученное напряженіе.

Какъ ни цѣнна попытка освѣтить съ иной, чѣмъ дѣлалось раньше, стороны явленія, имѣющія мѣсто въ верхнемъ строеніи пути при быстромъ передвиженіи по немъ груза, нельзя не сдѣлать нѣсколькихъ замѣчаній по поводу результатовъ теоріи Петрова.

1) Въ этой теоріи не приняты во вниманіе перегрузы оси отъ скачки и вліянія паровоза. Авторъ полагаетъ брать для всѣхъ скоростей значеніе для P не 7,5 тонны, а 10 тоннъ¹⁾ именно въ виду дополнительныхъ давленій, но не можетъ быть, чтобы эти дополнительные давленія не росли вмѣстѣ со скоростью; нѣкоторые изъ этихъ давленій, напримѣръ вертикальныя слагающія центробѣжной силы противовѣсовъ, зависятъ отъ квадрата скорости движенія.

¹⁾ Если считать давленіе колеса 10 т., то придется вставить въ формулы вмѣсто десяти 12,5 тоннъ.

2) Едва ли можно основываться въ вычисленіяхъ на опредѣленіи неправильности бандажа, соответствующей выступу на рельсѣ, именно въ 2 мм., и считать, что неровность рельса вызоветъ мгновенно измѣненіе положенія рессоры и измѣненіе давленія на рельсѣ. Въ дѣйствительности рессора не одна поддерживаетъ весь кузовъ, который, если бы даже рессора была такъ эластична и быстро передавала колебанія, какъ полагаетъ авторъ, опускается и поднимается лишь на среднюю величину колебанія всѣхъ рессоръ и во всякомъ случаѣ увеличить давленіе на рельсѣ не тамъ, гдѣ къ нему прикоснется неправильное мѣсто колеса.

3) Подсчеты, сдѣланные для рельсовъ русскихъ желѣзныхъ дорогъ на основаніи таблицъ, приведенныхъ Петровымъ, показываютъ, что напряженія при значительныхъ скоростяхъ будутъ для рельсовъ разныхъ типовъ весьма мало разниться между собой и всѣ они заключаются приблизительно въ предѣлахъ $30-40 \frac{\text{кг.}}{\text{мм.}^2}$. Если не считать эти цифры фиктивными, полезными лишь для сравнительной оцѣнки разныхъ типовъ верхняго строенія, то является вопросъ, какъ можемъ относиться спокойно къ столь большому (превосходящему предѣлъ пропорціональности) напряженіямъ въ матеріалѣ рельсовъ?

4) Припомнимъ опыты, произведенные съ электрическими вагонами—двигателями.

Общее заключеніе производившихъ эти опыты таково, что по хорошо устроенному и хорошо содержимому рельсовому пути возможно передвиженіе со скоростью вдвое большей, чѣмъ принятая въ настоящее время. Надо полагать, что скорость вдвое большая подразумѣвается при условіи, чтобы въ подвижномъ составѣ не было частей съ перемѣннымъ движеніемъ. Это вытекаетъ изъ того, что въ описаніи этихъ опытовъ говорится¹⁾, что на дорогѣ, гдѣ допускается наибольшая скорость въ 80 мил. въ часъ, можно спокойно ѣхать со скоростью 120 кил. въ часъ, лишь бы локомотивъ не содержалъ частей съ перемѣннымъ движеніемъ, сильно способствующихъ переплетающимъ колебаніямъ.

Изъ этого можно заключить, что присутствіе указанныхъ частей вліяетъ въ сильной степени на увеличеніе напряженія въ рельсахъ. Считая, что при той предѣльной скорости, какая по наблюденіямъ можетъ быть допущена для данныхъ рельсовъ, въ нихъ дѣйствуетъ напряженіе близкое къ предѣлу упругости (иначе не получалось бы выгибовъ

¹⁾ Статя Инж. Бѣлого и Шуберскаго съ описаніемъ электрическаго вагона—двигателя Журн. М. П. С. кн. 3 за 1903 г. стр. 9.

рельсовъ) — напримѣръ $0,4 \times 70 = 28 \frac{\text{кл.}}{\text{мм}}$ ², видимъ, что на тѣхъ путяхъ, гдѣ это напряженіе при обыкновенныхъ паровозахъ достигается при скорости 100 кл. въ часъ (допускаемая предѣльная скорость 80 кл. въ часъ), при электровозахъ, т. е. при отсутствіи частей съ переменнымъ движеніемъ, оно же будетъ достигнуто лишь при $120 + 20 = 140$ клм. въ часъ. Значить, присутствіе этихъ частей равносильно увеличенію скорости на 40 клм. въ часъ.

Нельзя игнорировать вліянія этихъ частей, выражающагося главнымъ образомъ въ появленіи горизонтальныхъ силъ, дѣйствующихъ на рельсы и, безъ сомнѣнія, увеличивающихся вмѣстѣ со скоростью поступательнаго движенія паровоза.

Въ виду этого выводъ теоріи Петрова, что въ предѣлахъ отъ 60 до 120 кл. въ ч. напряженіе въ рельсахъ почти не зависитъ отъ скорости, не можетъ быть вѣрнѣе. Считая скорость паровоза въ 60 кл./ч. равносильной скорости электровоза въ 100 кл., а скорость паровоза въ 120 — соответственно для электровоза, положимъ, въ 160, получили бы мы на основаніи теоріи Петрова, что путь, который разстраивается при движеніи электрическаго вагона со скоростью 160 клм. въ часъ, уже разстраивался бы паровозомъ при скорости 100 клм., чего на самомъ дѣлѣ изъ опытовъ не видно. Изъ тѣхъ же опытовъ выходитъ, что, если желаемъ довести скорость электровоза вмѣсто 120 до 160 клм. въ часъ, необходимо усилить верхнее строеніе замѣной рельсовъ вѣсомъ 33,4 кл. въ м. на рельсы 42 кл./м., съ примѣніемъ балласта лучшаго качества. Выходитъ, что увеличеніе скорости электровоза на 40 кл. ч. требуетъ увеличенія вѣса рельсовъ примѣрно на 25%. Такое же увеличеніе скорости движенія паровоза должно бы потребовать увеличенія вѣса рельса примѣрно на 50%. Исходя изъ этого соображенія, заключаемъ, что, если, довольствуясь наибольшими скоростями до 60 кл. ч., мы примѣняли рельсы въ $21\frac{2}{3}$ — $22\frac{1}{2}$ фунта въ пог. футѣ, то, пожелавъ довести предѣльную скорость до 100 вер. въ часъ, мы должны замѣнить эти рельсы на рельсы напр. $32\frac{1}{2}$ фунта въ пог. футѣ¹⁾.

Примѣненіе
формулы Н.
Петрова для
опредѣленія
вертикаль-
ныхъ дефор-
мацій балла-
ста.

§ 20. Если мы условимся считать теорію Петрова невѣрной при вычисленіи напряженія въ рельсѣ уже хотя бы по тому, что имъ при-
няты во вниманіе лишь одинъ изъ факторовъ воздѣйствія скорости на
рельсѣ, но будемъ считать его способъ подсчета пригоднымъ для опре-

¹⁾ Въ послѣдней статьѣ по опредѣленію вліянія вертикальныхъ силъ на рельсы (Записки Имп. Русск. Техн. Общ., Іюль—Авг. 1906 г.) Н. Петровъ вводитъ еще вліяніе противовѣсовъ.

дѣленія прогибовъ шпаль и балласта при движеніи колеса съ разной скоростью, многія возраженія противъ его теоріи отпадутъ, такъ какъ удары изношенныхъ бандажей всего больше способствуютъ разстройству балластного слоя. Неоспоримымъ является, что при гладкихъ, правильныхъ колесахъ, быть можетъ, часто матеріалъ рельсовъ испытываетъ перенапряженіе при движеніи поѣзда, но балластный слой остается въ сохранности, при плохой же обточкѣ бандажей балластный слой разстраивается весьма сильно. Быть можетъ этому разстройству способствуютъ еще и многія другія второстепенныя причины, но онѣ могутъ быть учтены при помощи нѣкоторыхъ практическихъ коэффициентовъ. Дѣйствительно, поверхность рельсовъ является бугорчатою и ступенчатою у стыковъ (Стецевичъ. Износъ рельсовъ. Журн. Министерства Пут. Сообщ. 1889 г.), значительные выгибы рельсовъ часто происходятъ отъ крайне неаккуратной укладки безъ балласта при постройкѣ дороги, поврежденія и изгибы иногда увеличиваются при производствѣ смѣны рельсовъ и шпаль; въ пути нерѣдко встрѣчаются шпалы гнилыя, маломѣрныя, расположенныя другъ отъ друга на большемъ, чѣмъ полагается, разстояніи, балластъ бываетъ въ недостаточномъ количествѣ, низкаго качества и весьма неоднородный, такъ что подъ одной шпалой онъ работаетъ иначе, чѣмъ подъ другой. и т. д. Принявъ все это во вниманіе, слѣдуетъ только установить для каждаго пути максимальную величину неровностей по вертикали, на какую слѣдуетъ рассчитывать.

Остается замѣтить, что Петровъ всѣ разсужденія ведетъ въ предположеніи, что коэффициентъ C (или у него K) колеблется въ большихъ предѣлахъ. Онъ имѣетъ въ виду коэффициентъ постели, считая балластъ вполне упругимъ. Конечно последнее не вѣрно. Значеніе C мѣняется въ весьма узкихъ границахъ, объ этомъ было уже сказано выше. Опыты съ нѣкоторыми балластами описаны въ слѣдующей главѣ.

Можно оставить выводъ Петрова, принявъ большія колебанія коэффициента, зависящаго отъ балласта, но тогда этотъ коэффициентъ надо считать не C , а C_0 , который дѣйствительно колеблется въ значительныхъ предѣлахъ¹⁾. Это такъ сдѣлать и нужно, разъ мы будемъ примѣнять способъ расчета Петрова не для подсчета напряженій въ рельсахъ, а для вычисленія деформаций балласта по вертикальному направленію.

Остановимся подробнѣе, насколько повышеніе значенія C_0 можетъ, дѣйствительно, способствовать устойчивости пути противъ динамическихъ на него усилій.

¹⁾ Прикидывая по указанному выше способу балловъ, получимъ, напримѣръ, для балласта Николаевск. ж. д. $C_0 = 20$.

Такъ какъ при очень значительныхъ скоростяхъ рельсъ не успѣваетъ прогнуться, пока колесо находится въ промежуткѣ между двумя шпалами, то въ этихъ случаяхъ движеніе при правильно устроенномъ пути должно совершаться плавнѣе и спокойнѣе, чѣмъ при среднихъ скоростяхъ, слѣдовательно выше извѣстнаго предѣла (онъ близокъ къ 100 кил. въ часъ) приращеніе вліянія груза, зависящее исключительно отъ скорости, не увеличивается. Поэтому, если верхнее строеніе рассчитано для скорости движенія близкой къ этой предѣльной, то увеличеніе скорости не является опаснымъ и, даже если принять динамическое дѣйствіе во всѣхъ случаяхъ въ 2,5 раза больше статическаго, можно не бояться за путь, хотя бы по формуламъ получались напряженія, превосходящія границу упругости матеріаловъ верхняго строенія пути. Величина колебаній пути при проходѣ грузовъ зависитъ отъ гибкости пути, а также отъ величины вертикальной составляющей центробѣжныхъ силъ противовѣсовъ, зависящей отъ скорости движенія.

Значеніе достаточной жесткости пути, которая можетъ характеризоваться высокимъ коэффициентомъ постели, весьма велико, такъ какъ, кромѣ разстройства пути и большей стоимости содержанія, сильныя пониженія и повышенія паровоза уменьшаютъ его силу тяги, порождаютъ новыя динамическія усилія, дѣйствующія на путь, и увеличиваютъ напряженія въ частяхъ паровоза. При весьма большихъ скоростяхъ колебанія становятся меньше, поэтому здѣсь увеличеніе коэффициента C не играетъ той роли, но само собой понятно, что при значительныхъ скоростяхъ этотъ коэффициентъ и безъ того долженъ быть возможно больше.

Самою дѣйствительною и самою простою мѣрою для увеличенія жесткости пути является улучшение балласта, такъ какъ пониженіе опоръ пропорціонально коэффициенту постели ($D = n \cdot Cbl$). Достигнуть, чтобы этотъ коэффициентъ былъ одинаково высокъ для значительныхъ участковъ пути, невозможно въ виду различныхъ свойствъ полотна, которыя вліяютъ на значеніе C . Тѣмъ не менѣе необходимо стремиться къ этой цѣли, употребляя балластъ соответственнаго качества и придавая балластному слою достаточную толщину. При балластѣ, у котораго $C=8$ (щебень на хорошемъ полотнѣ), колебанія пути почти въ три раза меньше, чѣмъ при $C=3$ (песчаный балластъ на слабомъ полотнѣ). Употребляя щебень въ качествѣ балласта, можно при всякомъ полотнѣ довести коэффициентъ постели C до 5. Одновременно надо стремиться чтобы увеличить C_0 .

Второю мѣрою для увеличенія жесткости пути является употребленіе шпалъ съ бѣльшимъ основаніемъ. Напримѣръ, введя шпалы съ шириной постели не 5 вер. (22 см.), а 6 вер. (27 см.) и взявъ ихъ нѣсколько длиннѣе, поднимемъ жесткость пути на 20—30%.

На жесткость пути, хотя и въ меньшей степени, вліяетъ также и величина $B = \frac{6EJ}{a^3}$, т. е. сила, способная изогнуть рельсъ на 1 см. Сокращеніе разстоянія a между шпалами повышаетъ величину B пропорціонально кубу этого разстоянія. Если желательно поднять значительно сопротивляемость пути, это легко достигается возможнымъ сближеніемъ шпалъ между собою. Въ Америкѣ примѣненіе этой мѣры доходитъ до того, что величина a доведена до 60 см. При этомъ надлежащая подбивка шпалъ становится неудобной и возможна только при небольшой ширинѣ ихъ подошвы. Измѣняя на разныхъ участкахъ пути разстояніе между шпалами, можно придать ему однообразную жесткость на значительныхъ протяженіяхъ, однообразіе же это весьма важно въ смыслѣ безопасности движенія. Увеличеніе вѣса рельсовъ тоже увеличиваетъ сопротивляемость пути, такъ какъ B пропорціонально моменту инерціи рельса. Но B пропорціонально первой степени J и само B вліяетъ незначительно на увеличеніе жесткости пути, то слѣдовательно увеличеніе вѣса рельсовъ, какъ мѣра исключительно для усиленія сопротивляемости пути, не является рациональной, тѣмъ болѣе, что другія мѣры даютъ болѣе замѣтные результаты и часто сопряжны съ меньшими расходами. „Даже между желѣзнодорожными техниками, говоритъ Астъ, распространено ложное мнѣніе, что усиленіе рельсовъ является единственнымъ средствомъ для увеличенія прочности пути ¹⁾; полагаютъ, что этимъ средствомъ можно устранить, если не всѣ, то большую часть недостатковъ современнаго верхняго строенія; на Парижскомъ международномъ конгрессѣ 1889 г. были даже высказаны слова: *Le joint robuste, c'est le rail lourd*“. Ошибочное мнѣніе, что одни лишь рельсы имѣютъ существенное значеніе во всей совокупности сооруженія, весьма старо. Вслѣдствіе этого рельсы постоянно подвергались изслѣдованію и усовершенствованію, и даже въ наше время, когда разсматривается какое либо верхнее строеніе, то вопросъ возникаетъ преимущественно о вѣсѣ употребленныхъ рельсовъ, между тѣмъ какъ вѣсъ рельсовъ далеко еще не опредѣляетъ достоинствъ данной системы верхняго строенія пути. Старанія по усовершенствованію профиля рельсовъ, кромѣ несомнѣннаго значенія этаго фактора, имѣютъ причину еще въ томъ, что замѣна рельсовъ не представляетъ трудностей съ технической стороны, что при усиленіи рельсовъ весь строй ухода за путемъ остается неизмѣненнымъ, и является увѣренность, что сопротивляемость пути увеличена всюду въ одинаковой мѣрѣ. Кромѣ того при болѣе тяжелыхъ рельсахъ рельсовые стыки не пред-

¹⁾ Слѣдовало бы сказать—жесткости.

ставляютъ такихъ слабыхъ мѣстъ пути, какъ при легкихъ. Наибольшія динамическія усилія развиваются въ рельсовыхъ стыкахъ; поэтому балластъ разрушается и пустоты образуются преимущественно подъ шпалами сосѣдними со стыками, вслѣдствіе чего эти шпалы требуютъ наиболѣе частой подбивки. Рельсовые скрѣпленія должны быть такъ устроены и разстояніе между стыковыми шпалами настолько сокращено, чтобы прогибъ рельса былъ одинаковъ какъ въ стыкахъ, такъ и въ прочихъ точкахъ. Современные системы рельсовыхъ скрѣпленій мало удовлетворяютъ этому требованію, поэтому изученіе улучшенныхъ стыковъ должно быть поставлено въ связь съ наблюденіями надъ работой балласта подъ стыковыми шпалами.

Возрастающія требованія движенія могутъ быть удовлетворяемы не единственно посредствомъ усиленія пути (возможнаго лишь въ извѣстныхъ предѣлахъ), но при непремѣнномъ условіи также улучшенія конструкціи паровоза. Собственно говоря, слѣдуетъ считать основнымъ факторомъ имѣющееся устройство пути, и съ нимъ должно сообразоваться устройство подвижного состава, а не наоборотъ, и при развитіи движенія нужно прежде, чѣмъ приступать къ усиленію верхняго строенія пути на всей дорогѣ или цѣлой ихъ сѣти, принять мѣры къ пониженію динамическихъ усилій отъ движенія колесъ, такъ какъ тогда съ большей безопасностью можно повысить ихъ давленіе. Подобными мѣрами являются: возможное уменьшеніе нагрузки на переднія колеса, которыя производятъ наибольшія давленія на путь; при этомъ является возможность съ выгодною увеличивать нагрузку второй оси. Желательно увеличеніе разстоянія между колесами и діаметра ихъ. Неправильная окружность колесъ (выбоины, образующіяся при торможеніи, неправильная обточка и т. п.) весьма вредно вліяютъ на путь. Такіе недостатки колесъ порождаютъ усилія, подобныя ударамъ молота и весьма повышаютъ статическое давленіе. Тормозныя оси слѣдуетъ загружать слабѣе, весьма желательно было-бы ввести систему торможенія, при которой колодки не нажимали бы на тѣ части колесъ, которыя соприкасаются съ рельсомъ. Паровозы съ внутренними цилиндрами гораздо устойчивѣе, чѣмъ съ наружными, поэтому ихъ слѣдуетъ особенно рекомендовать для скорыхъ поѣздовъ. Въ паровозахъ съ наружными цилиндрами слѣдуетъ при постройкѣ ихъ приближать по мѣрѣ возможности цилиндры къ центру тяжести паровоза, который, вообще говоря, долженъ быть возможно выше.

При условіи, что подвижной составъ имѣется, вѣсь рельсовъ увеличить нельзя, шпалы и ихъ укладка болѣе или менѣе одного типа, увеличить жесткость пути можно примѣненіемъ возможно лучшаго балласта путемъ замѣны имѣющагося балласта другимъ или улучшеніемъ

его качества тѣмъ или инымъ способомъ (отсѣиваніемъ, промывкой, прибавленіемъ болѣе крупныхъ частей и т. д.). Необходимыми условіями для балласта являются: значительная твердость матеріала, устойчивость противъ морозовъ и водонепроницаемость. Предпочтительно, чтобы онъ состоялъ изъ частицъ одинаковаго размѣра. Сверхъ того балластный слой долженъ быть достаточной толщины и обладать всюду значительными и, по возможности, одинаковыми коэффициентами C и C_0 .

Въ слѣдующей главѣ изложены результаты опытнаго изслѣдованія по возможности всѣхъ, имѣющихъ отношеніе къ сопротивляемости пути, физическихъ и механическихъ свойствъ нѣсколькихъ образцовъ балластовъ. Изученіе балластовъ, тѣхъ свойствъ, какихъ отъ нихъ надлежитъ требовать, а также способовъ поднять качества имѣющихся балластовъ на сѣти желѣзныхъ дорогъ должно нынѣ стать очереднымъ вопросомъ въ эксплуатаціи русскихъ дорогъ, такъ какъ проведенное нѣсколько лѣтъ тому назадъ усиленіе рельсовъ заставляеть считаться съ тѣмъ, что увеличеніе пропускной способности зависитъ уже теперь отъ улучшенія балластовъ.

§ 21. Такъ какъ разсуждать сколько нибудь правильно о воздѣйствіи паровоза на путь можно, только основательно познакомившись съ конструкціей и ходомъ паровозовъ, а главнымъ образомъ, съ тѣми дополнительными колебаніями, какія присущи этой машинѣ и съ износомъ бандажей, осевыхъ шеекъ и заплечиковъ и т. д., я отбылъ въ Маѣ и Іюнѣ 1906 г. на Николаевской желѣзной дорогѣ короткую пратіеу ознакомленія съ конструкціей и управленіемъ паровозовъ.

Наблюденія
надъ движе-
ніями паро-
воза, влия-
ющими на
путь.

Меня интересовало главнымъ образомъ 1) провѣрить—движется ли каждое колесо паровоза по рельсу, слѣдуя по извилистой линіи, какъ объ этомъ говорится въ курсахъ желѣзныхъ дорогъ и въ курсахъ паровозовъ и въ нѣкоторыхъ специальныхъ трактатахъ¹⁾ и 2) какія категоріи добавочныхъ движеній можно признать имѣющими мѣсто и въ какой степени и которыя изъ нихъ больше всего разстраиваютъ путь?

По первому вопросу я пришелъ къ тому убѣжденію, что при обыкновенныхъ условіяхъ колесо движется, такъ сказать, по одной натянутой ниткѣ, идущей по поверхности головки рельса, и бандажъ соприкасается съ рельсомъ вообще одной образующей окружности. Долж-

¹⁾ На 1 стр. соч. Voedeker'a D. Wirk. zw. Rad u. Sch. сказано: Линія симметріи той волнообразной линіи, которую описываетъ подв. составъ, совпадаетъ въ прямыхъ частяхъ пути съ осью его, въ кривыхъ же подобная линія симметріи лежитъ близко оси пути, удаляясь въ кривыхъ въ сторону внутренней нити. (Черт 12).

но быть, имѣется поперечное нажатіе бандажами колесъ то на правый рельсъ, то на лѣвый, но оно не настолько велико, чтобы преодолѣть треніе колеса по рельсу и перемѣщать бандажи по поверхности рельса на тотъ или другой бокъ. Извилистое движеніе бандажа по рельсу—миѳъ, происшедшій отъ невѣрной локализации имѣющихся въ дѣйствительности довольно ритмичныхъ боковыхъ скольженій всей рамы паровоза по осямъ въ предѣлахъ имѣющихся зазоровъ.

По второму вопросу, соглашаясь съ тѣмъ, что можно наблюдать обычно принимаемыя роды добавочныхъ дѣйствій паровоза ¹⁾, появляющіяся при его движеніи, нельзя не указать, что вообще всѣ эти движенія рельефнѣе для самаго котла и всей рамы и едва ли они отражаются на самыхъ оси, отдѣльно взятыхъ. Большинство изъ этихъ движеній передается осями полотну въ столь спутанномъ, интерферированномъ видѣ, что только рѣзкія колебанія, напримѣръ опусканія и поднятія на толчкахъ, вліяніе при переходѣ между прямыми и кривыми частями пути, усиленная качка паровоза при несоотвѣтствіи дѣйствительной скорости съ той, для которой этотъ паровозъ строился и предназначался,—замѣтно вліяютъ на величину давленія паровоза на путь, каковое давленіе вообще распространяется на него довольно равномерно. Ниже приведены замѣтки объ упомянутыхъ поѣздкахъ на паровозахъ въ томъ видѣ, въ какомъ я ихъ дѣлалъ непосредственно по возвращеніи изъ этихъ поѣздокъ.

ЗАМѢТКИ О ПОѢЗДКАХЪ НА ПАРОВОЗАХЪ

на 1-мъ участкѣ Сл. Тяги Николаевской жел. дороги.

16 Мая 1906 года.

Выѣхалъ со ст. С.-Петербургъ въ 1 часть дня на товарномъ паровозѣ серіи Н. № 1075 съ товарнымъ поѣздомъ № 991. Паровозъ тяжелатаго типа съ 4-мя спаренными осями, компаундъ, о двухъ цилиндрахъ. Паръ подается къ меньшему цилиндру, помѣщающемуся съ правой стороны, а затѣмъ, отработавши, переходитъ на лѣвую сторону въ цилиндръ большаго діаметра. Тендеръ большой, на двухъ поворачивающихся двухосныхъ тележкахъ. Отопленіе угольное (кардифскимъ углемъ). Паровозъ предназначенъ для

¹⁾ Галлопированіе, т. е. перемежающаяся перегрузка передней оси, зависящая отъ колебанія паровоза около горизонтальной поперечной оси, вліяніе, т. е. колебаніе около вертикальной оси, зависящее отъ присутствія въ паровозѣ частей съ переменнымъ движеніемъ, перегрузъ то праваго, то лѣваго колеса, послѣдовательное усиленіе нагрузки колеса, являющееся слѣдствіемъ переменной вертикальной составляющей центробѣжной силы противовѣсовъ паровозныхъ колесъ, удары объ искривленія рельсовъ, возрастающіе вмѣстѣ съ скоростью движенія, и т. д.

скоростей до 48 вер. въ часъ. Ъхали со скоростью примѣрно 35 вер. въ часъ. Кулисса Джоя. Обыкновенно выпускъ пара держится на 0,4—0,5. Машинисты вообще избѣгаютъ ѣхать резервнымъ паровозомъ, т. е. безъ поѣзда, такъ какъ получаютъ премію по количеству веденныхъ осей; въ виду этого они стараются ѣхать на другой конецъ участка для взятія поѣздовъ обратнаго направленія, — прицепившись къ другому поѣзду съ паровозомъ, т. е. двойною тягой. На проѣздъ одного паровоза—безъ вагоновъ израсходуется топлива немногимъ менѣе, чѣмъ съ вагонами (на какіе-нибудь 30%). Въ смыслѣ расхода топлива вообще выгоднѣе поѣзда тяжелые и большого состава. Такой поѣздъ обладаетъ большою силою инерціи, умѣло пользуясь которой, можно значительную часть пути идти съ весьма малымъ расходомъ пара, особенно, если есть перевалы съ короткими подъемами, при чемъ можно такіе перевалы проскакивать той же инерціей и дальше ѣхать, пользуясь напорающей силой большого подвижного состава. На дорогѣ имѣется одинъ паровозъ съ прямымъ дѣйствіемъ пара. Хотя онъ возитъ поѣзда меньшаго состава, но сжигаетъ всегда топлива нѣсколько больше, чѣмъ такого же устройства паровозы Compound, но вообще выгодность двойного расширения на практикѣ мало ощутительна, неровность же хода больше.

На Николаевской желѣзной дорогѣ нѣтъ паровозовъ съ тремя или четырьмя цилиндрами. Машинистъ говорилъ, что на Балтійской желѣзной дорогѣ имѣется четырехцилиндровый паровозъ работы одного изъ русскихъ заводовъ. Работу этого паровоза весьма не хвалятъ. Есть на Московско-Курской такой-же паровозъ, но заграничной работы, тотъ весьма хорошъ. Когда было на Николаевской желѣзной дорогѣ пробное испытаніе паровозовъ различныхъ системъ, означенный паровозъ побилъ рекордъ, везя по тому же подъему поѣздъ значительно болѣе тяжелый и съ большей скоростью, чѣмъ то могли сдѣлать иные паровозы. При топкѣ углемъ правиломъ является—всегда держать паровозъ подъ парами, такъ какъ для разведенія паровъ въ потушенномъ паровозѣ нуженъ большой расходъ топлива и много времени.

При отопленіи нефтью вообще на продолжительныя стоянки тушатъ топку и только слѣдятъ, чтобы всегда оставалось небольшое количество пара, достаточное для приведенія въ дѣйствіе форсунку. Если почему либо не досмотрѣно и весь паръ остылъ, прибѣгаютъ къ выпуску пара отъ другого паровоза и въ крайнемъ случаѣ къ разведенію небольшого количества пара дровами. Если паровозъ совсѣмъ остылъ, приходится для этой цѣли израсходовать уже большое количество дровъ. При угольномъ отопленіи надо прочищать зольникъ не менѣе 1—2 разъ въ день. Поѣзду въ Любань и обратно (2 x 77 ∞ 150 вер.) нельзя сдѣлать, не выкинувъ зола 2 раза. Расходъ топлива при угольномъ отопленіи регулируется не только забрасываніемъ угля, но и открываніемъ или закрываніемъ поддувалъ (при переднемъ ходѣ открывається дальнѣйшее отъ топочныхъ верецъ).

На паровозѣ № 1075 я проѣхалъ 50 вер. до ст. Тосна. На этой станціи мы замѣтили, что подшипникъ мотыля одного спарника сильно нагрѣлся и заливка его (бабитъ) начинаетъ течь. Вынули чеку и сняли подшипникъ (обхватывающій ось мотыля въ видѣ двухъ полуколецъ съ вертикальнымъ разрѣзомъ). Оказалось, что истеченіе только еще началось. Раковины были мало замѣтныя; опилили зубиломъ потеки и собрали мотыль снова.

Обратно изъ Тосны до Петербурга (50 вер.) проѣхалъ на паровозѣ пассажирскомъ серіи Н № 42.

Или со скоростью 45 вер. въ часъ. Аппаратъ Гаусгальтера, имѣющійся на этомъ паровозѣ, никогда не контролируется никѣмъ. Стрѣлка указывала 50 вер. въ часъ, въ то время, какъ игла накалывала на лентѣ иѣсколько меньше 45 вер.

Паровозъ Compound, двухцилиндровый; кулисса Джоя. Впускъ пара держится на 0,4. Тормоза, какъ и на товарномъ паровозѣ № 1075,—Вестингауза. 50 верстъ ѣхали, съ одной остановкой для передачи корреспонденціи,—65 минутъ, т. е. около 50 вер. въ часъ въ пути.

Машинистъ говорилъ, что этотъ паровозъ имѣетъ не вполнѣ заработавшіяся выбоины на всѣхъ колесахъ съ тѣхъ поръ, какъ однажды пришлось затормозить и дать контръ—паръ въ виду наступающаго столкновения съ другимъ поѣздомъ. Такъ какъ выбоины на всѣхъ колесахъ одновременно касаются рельсовъ, то вслѣдствіе этого ходъ паровоза сталъ значительно неспокойнѣе, чѣмъ былъ раньше. По моимъ впечатлѣніямъ ходъ этого паровоза весьма плавный, особенно на прямыхъ, и при установившейся скорости движенія кромѣ небольшой обычной качки незамѣтно отступленій отъ правильнаго движенія.

Что касается самыхъ движеній паровоза, вообще я воображалъ себѣ, что вліяніе паровоза и продольная качка значительно больше по абсолютнымъ размѣрамъ. Судя на глазъ, амплитуда колебаній верхней части паровоза по горизонтальному направленію не выше, въ среднемъ, 5—6 мм., такъ что опредѣлить, имѣется ли сколько-нибудь замѣтное синусоидное движеніе бандажей по рельсамъ, не представляется возможнымъ. Кажется, что правильныхъ волнистыхъ линій колеса по рельсамъ не описываютъ, такъ какъ вообще всѣ второстепенныя движенія паровоза часты и не вполнѣ ритмичны. Строго подраздѣлить эти второстепенныя движенія на категоріи, основываясь на впечатлѣніи, получаемомъ во время пути на паровозѣ, весьма трудно, но можно принять общепринятое дѣленіе: на вліяніе, скачку и перевалку, причемъ вообще горизонтальныя дѣйствія на рельсы, а также перевалка больше разстраиваютъ путь, чѣмъ всякаго рода вертикальныя давленія. Вліяніе противовѣсовъ, т. е. послѣдовательной перегрузки и разгрузки колесъ вслѣдствіе вліянія вертикальныхъ составляющихъ силъ инерціи какъ противовѣсовъ, такъ и мотылей, проявляется, повидимому, незначительно и во всякомъ случаѣ не такое, какъ принимаютъ иные изслѣдователи.

Толчки на плохо подбитыхъ мѣстахъ пути чувствуются довольно сильно, но вообще въ видѣ весьма плавнаго опусканія и подъема и такого же плавнаго измѣненія давленія на путь,—точно лодка по волнѣ.

На Николаевской дорогѣ вполнѣ слежавшееся полотно, балластъ не крупный, но однороднаго зерна, чистый и подбитый весьма тщательно.

Крупный типъ рельсовъ распределяетъ давленіе колесъ на большое число шпалъ.

Машинисты указываютъ, что имъ замѣтно, что ѣзда по новымъ рельсамъ идетъ глаже и иѣсколько спокойнѣе, но вообще кореннаго улучшенія пути отъ замѣны старыхъ 24 $\frac{1}{2}$ фунтовыхъ рельсовъ они не замѣчаютъ. Одинъ машинистъ указывалъ на недостатокъ новыхъ рельсовъ,—что по нимъ паровозъ часто боксуетъ, чего на старыхъ не бывало. Нужно ли это объяснить несоотвѣтствіемъ профили головки рельса новаго типа съ профилемъ бандажей, или же качествомъ матеріала, или уменьшеніемъ мѣстныхъ прогибовъ въ промежуткахъ между шпалами, сказать трудно.

Машинистъ увѣрялъ, что износъ бандажа по всей окружности, являясь мѣстнымъ, въ сильной степени увеличиваетъ усилія, стремящіяся разворотить рельсы и вообще разстроить верхнее строеніе.

Плохой балластъ можетъ быть тотъ, который, плохо пропуская воду, даетъ возможность ей скопляться подъ шпалами, что вызываетъ толчки, увеличивающіеся при повторномъ дѣйствіи колесъ. Непокрытый щебнемъ балластъ принимаетъ непосредственно удары и значительную скорость попадающей на него воды, вымывается и выдувается и подбивка его не такъ долго держится. Неудавшийся осѣсть балластъ, какъ примѣръ на новой Вологодской линіи, подается и является причиной прыганія и качки паровоза. Осѣвшій балластъ не является упругимъ; если онъ осѣдаетъ на незначительную величину, то всюду равномерно.

При двойной тягѣ путь разстраивается значительно больше, чѣмъ при одиночной, такъ какъ путь испытываетъ большую нагрузку и колебанія двухъ рядомъ стоящихъ большихъ массъ.

17 Мая. Выѣхалъ со ст. Петербургъ съ курьерскимъ поѣздомъ въ 9 часовъ 45 м. утра на паровозѣ серія Н № 42. Ѣхали со скоростью максимумъ 72 вер. въ часъ. Горизонтальныя качанія паровоза довольно различны, и ритмичность соответствуетъ примѣрно пробѣгу въ $2-2\frac{1}{2}$ саж., т. е. окружности колеса, такъ какъ діаметръ колеса около 6', Примѣрно до скорости 40 вер. въ часъ колебаній вертикальныхъ не замѣчается и горизонтальныя незначительны. При скоростяхъ большихъ тѣ и другія усиливаются. Доѣхалъ до Любани (77 вер). Оттуда до Колпино ѣхалъ на товарномъ паровозѣ сер. Об. № 218. Что касается боксованія на новыхъ рельсахъ, машинистъ этого поѣзда не замѣтилъ разницы между новыми и старыми, а боксованіе объясняетъ исключительно осѣдающей влагой, а также масломъ, разлитымъ изъ паровоза или тѣмъ, которыми смазываютъ болты при сблчиваніи стыковъ.

Иногда при ѣздѣ наблюдалась усиленная качка въ вертикальномъ направленіи. Она имѣла мѣсто на спускахъ. Замѣтно было, что одновременно съ усиленіемъ вертикальной качки уменьшалась горизонтальная. Перевалки совсѣмъ не замѣтно на паровозѣ. Отъ Колпино ѣхалъ на пассажирскомъ паровозѣ сер. Н № 43. Горизонтальная качка сильнѣе на прямыхъ, чѣмъ на кривыхъ.

Можно полагать, что видимая боковая качка есть движеніе рамы съ котломъ по осямъ въ предѣлахъ зазоровъ между шейками осей и рамой, самыя же оси катятся правильно, и волнообразнаго движенія ихъ, какъ ни присматриваться, незамѣтно.

Машинистъ товарнаго поѣзда замѣтилъ, что на новыхъ рельсахъ треніе осей обѣихъ больше, чѣмъ на старыхъ, такъ какъ онъ со смѣной рельсовъ не можетъ дѣлать при тѣхъ же условіяхъ той скорости, какой достигалъ при старыхъ рельсахъ. При новыхъ рельсахъ бандажи гораздо меньше изнашиваются. Можетъ быть тому причиной мягкость матеріала этихъ рельсовъ ($32\frac{1}{2}$ фунта въ пог. футѣ выработки Брянскаго завода).

Вообще машинисты не думаютъ, что при прочномъ, вездѣ хорошо подбитомъ пути могутъ быть сколько нибудь значительныя неправильности хода паровоза, сильно дѣйствующія на путь. Неправильности движенія должны быть, такъ какъ все вездѣ одинаково хорошо подбитымъ быть не можетъ. Перевалка непременно будетъ, если одинъ

конецъ шпалы слабѣе подбить, чѣмъ другой; колесо не преминетъ осадить это мѣсто рельса, а при слѣдующемъ проходѣ еще больше разбить это мѣсто; такъ какъ рельсъ пружинитъ, то углубленіе можетъ оставаться долго незамѣченнымъ.

Давленіе крейцкопфа на салазки то вверхъ, то внизъ не можетъ быть большимъ, такъ какъ не змѣтно, чтобы салазки истирались сколько-нибудь значительно.

На всѣхъ паровозахъ Николаевской жел. дороги вмѣсто двухъ параллелей имѣется одна направляющая, по которой движется обойма отъ крейцкопфа. Такая же направляющая есть и у золотниковаго штока.

При проходѣ поѣзда надъ шпалами на глазъ ни коимъ образомъ нельзя замѣтить движеній концовъ шпалъ. Вжимается въ шпалу подкладка, просвѣтъ между шпалой и подкладкой то исчезаетъ, то восстанавливается, сжимается шпала и разжимается, наконецъ она изгибается, опускаясь нѣсколько въ мѣстѣ подъ самыми рельсами, а концы и середина остаются неподвижно сидящими на балластѣ, между тѣмъ какъ подъ самыми рельсами, вѣроятно, имѣется прозоръ между низомъ шпалы и верхомъ балласта въ миллиметръ, а то и больше.

18 Мая съ 12^{1/2} часовъ до 6 час. вечера осматривалъ вагонную мастерскую на ст. С.-Перербургъ, паровозную мастерскую, паровозное зданіе (круглое) и укладку путей къ новымъ пассажирскимъ платформамъ. Осмотрѣлъ подробно конструкцію пульмановскихъ вагонныхъ тѣлежекъ, нѣсколько которыхъ было выкачено изъ подъ ремонтруемыхъ вагоновъ и находились въ полуразобранномъ видѣ. Въ паровозной мастерской наблюдалъ обточку бандажей, причемъ замѣтилъ, что профиль изношеннаго бандажа есть плавная кривая; видѣнные мною бандажи не принадлежали къ числу сильно изношенныхъ, не болѣе 4—5 мм. Въ мѣстѣ наиболѣе изношенномъ незамѣтно довольно широкой ровной площадки, которая появилась бы, если бы каченіе колеса по рельсу совершалось по извилистой линіи. Что касается глубины износа, то мастеръ, завѣдывающій этой мастерской, объяснилъ мнѣ, что обыкновенно наблюдается правильно растущій съ теченіемъ времени износъ—послѣ мѣсяца или двухъ въ 1 мм., еще черезъ мѣсяцъ 1^{1/2}, еще черезъ мѣсяцъ 2, затѣмъ 2^{1/2} и такъ до 4—5 м/м. Больше износа не допускаютъ, и колесо поступаетъ въ переточку. Но ему случалось наблюдать износъ и въ 7 и больше м/м., даже до 10. Въ подобныхъ случаяхъ оказывается, что износъ вмѣсто увеличиваться дальше, начинаетъ уменьшаться и доходить до 5 м/м. Надо заключить, что при болѣе продолжительной работѣ изнашивается весь профиль бандажа. Мѣстныя выбоины, происходящія отъ торможенія (вообще онѣ не велики, занимаютъ площадку размѣрами не больше 5—8 сантим. и глубиной не свыше 3—5 м/м.), съ теченіемъ времени заглаживаются, что происходитъ отъ равномернаго износа по всему ободу колеса. Замѣтенъ большій износъ бандажа въ мѣстахъ обода противъ пальцевъ мотылей и около противовѣсовъ. Это надо объяснить систематическими ударами объ рельсъ вслѣдствіе центробѣжной силы этихъ массъ. Боковое по горизонтальному направленію движеніе паровоза вызываетъ скольженіе подшинниковъ по шейкамъ осей, такъ какъ имѣются зазоры между буксами и ступицами колесъ. Эти зазоры дѣлаются для среднихъ осей 3 м/м. и для крайнихъ 5 м/м. (можно для среднихъ 1 м/м. и для крайнихъ 7 м/м.). При такихъ зазорахъ паровозъ легко вписывается въ кривыя. Если двѣ оси соединены въ одну тележку на шкворнѣ, то зазоры дѣлаются гораздо менѣе (1—3 м/м.). Послѣ пробѣга нѣ-

сколькихъ тысячъ верстъ зазоры увеличиваются; напримѣръ, у среднихъ доходятъ до 5—6 м/м., а у крайнихъ до 8 м/м. Это увеличеніе получается отъ истиранія боковыхъ граней буксъ, а равно боковыхъ граней ступицъ. Для удержанія требуемаго разстоянія между краями буксъ, при неизмѣнномъ положеніи челюстей и замѣнѣ осей, прибѣгаютъ къ привинчиванію къ боковымъ поверхностямъ ступицъ мѣдныхъ колецъ соотвѣтственной толщины или къ навариванію на эти мѣста толщи бабитоваго сплава. Увеличеніе зазоровъ указываетъ съ одной стороны на постоянную боковую качку, которая вызываетъ нажатіе и треніе буксъ о ступицы, а съ другой стороны, что качающійся въ горизонтальномъ направленіи котель и вообще все, что лежитъ на подшипникахъ, ерзаетъ на осевой шейкѣ, причемъ, такъ какъ шейка обильно смазывается, ерзаніе это легко объяснимо. Такимъ образомъ все боковое колебательное движеніе паровоза, которое при высокомъ расположеніи центра тяжести паровоза, не можетъ быть значительнымъ (на уровнѣ подшипниковъ—можетъ быть не болѣе 5—6 м/м.), при увеличенныхъ зазорахъ проявляется въ видѣ ерзанія буксъ по шейкамъ. Если же зазоры небольшие, то все колебаніе не выразится этимъ ерзаніемъ, а часть его (можетъ быть 2—3 м/м.) еще проявится послѣдовательнымъ отклоненіемъ то вправо, то влево точки касанія колеса и рельса. Въ такомъ случаѣ геометрическое мѣсто точекъ соприкосновенія колесъ и рельсовъ, пожалуй, будутъ волнообразныя линіи. При увеличеніи зазоровъ между буксами и ступицами замѣчается усиленная раскатка паровоза, его трясетъ по всѣмъ направленіямъ, такъ что машинисты жалуются на утомительность пребыванія на паровозѣ, механизмъ разстраивается, ослабляются заклепки въ рамѣ и т. д.; большое увеличеніе зазоровъ можетъ быть опасно для цѣлости шатуновъ, мотылей и штоковъ. Разработанные зазоры и являются причинами рѣзкаго колебательнаго движенія паровоза, такъ какъ удары буксъ о буртики и ступицу уже дѣлаются большими и не поглощаются массой паровоза, а производятъ сотрясенія. Надо замѣтить, что въ паровозахъ компаундъ равномерная работа обѣихъ сторонъ возможна только при отсѣчкѣ пара 0.5. На самомъ дѣлѣ машинисты чаще позволяютъ себѣ ѣздить при меньшей отсѣчкѣ, отъ чего правая сторона работаетъ сильнѣе. Это приводитъ къ увеличенію качки и разстройству частей машины.

Разсматривалъ въ паровозныхъ зданіяхъ конструкцію купольнаго покрытія, громадный поворотный кранъ, поднятый на домкратахъ тендеръ съ откаченными осями. Въ паровозной мастерской присутствовалъ при разборкѣ, поднятіи на домкраты и откаткѣ осей со снятіемъ буксъ у четырехоснаго паровоза. сер. Н. Подобралъ два костыля, повидимому долго бывшіе въ пути. Одинъ изъ нихъ сильно выгнутъ по своей длинѣ внутрь пути—въ сторону головки, у другого такой общій выгибъ мало замѣтенъ. У перваго подъ головкой на грани ближайшей къ рельсу имѣется въ предѣлахъ подкладки выбоина глубиной 3—4 м/м., верхняя треть длины вообще утонена и на задней грани замѣтно изношена. Какъ будто бы верхняя часть костыльной дыры была разработанной и на костыль сильно нажимала и ерзала около него подкладка. Другой костыль, имѣя выбоину въ передней грани всего около 1 м/м. и изношенную заднюю грань въ верхней части, сильно изношенъ въ той-же верхней части по обѣимъ боковымъ гранямъ, какъ будто подкладка долго ерзала въ направленіи пути, ударяясь то объ одну боковую грань костыля, то объ другую.

Разсматривалъ балластъ, подвозимый рабочими поѣздами для укладки путей къ новымъ пассажирскимъ платформамъ. Нашелъ его качество весьма высокимъ. На видъ онъ чистый, въ значительной степени кварцевый, т. е. крѣпкій, состоящій изъ зеренъ небольшой крупности, преимущественно около $\frac{1}{4}$ мм., съ весьма незначительной примѣсью болѣе крупнаго гравія и съ не очень большимъ содержаніемъ мелкихъ частицъ. Глины въ немъ, вѣроятно, не болѣе нѣсколькихъ процентовъ. По отзыву дорожнаго мастера балластъ этотъ прекрасно пропускаетъ воду, самъ не сбивается, всегда разсыпчатый и въ достаточной мѣрѣ упругъ въ массѣ. По мнѣнію дорожнаго мастера балластъ изъ зеренъ болѣе крупныхъ, чѣмъ $\frac{1}{4}$ мм. нисколько не лучше такого, а даже хуже, потому что не въ состояніи дать совершенно компактной, устойчивой постели. Плохъ тотъ балластъ, который содержитъ сколько нибудь значительное количество глины. Пробой качества балласта, кромѣ отмучиванія, можетъ быть высушиваніе комасоченнаго балласта. Если онъ остается сыпучимъ, то слѣдуетъ его считать вполне удовлетворительнымъ матеріаломъ.

Балластъ съ примѣсью весьма мелкихъ частицъ мало сыпучъ, поэтому всякій прозоръ подъ шпалами или около боковой ея грани остается незаполненнымъ и при повторныхъ прохожденіяхъ колесъ такой прозоръ все увеличивается, дѣлая неустойчивымъ положеніе шпалы. Если при такомъ балластѣ образовался прозоръ подъ шпалой, то туда набивается съ теченіемъ времени много самыхъ мелкихъ частицъ, получается подушка изъ пыли, причемъ эта пыль даже иногда выбрасывается съ боковъ шпалы, а послѣ дождя, если вода не отводится балластнымъ слоемъ вполне удовлетворительно, выбрызгивается въ видѣ грязи. Вообще при плохомъ балластѣ можно имѣть путь почти также прочнымъ, какъ и при хорошемъ, но вниманія при содержаніи пути надо больше и рабочей силы на ремонтъ пойдетъ чуть ли не вдвое больше. Для устойчивости пути, т. е. чтобы за него меньше беспокоиться, всего важнѣе имѣть тяжелые рельсы, распредѣляющіе нагрузку на значительное число шпалъ и весьма мало прогибающіеся. Размѣры шпалъ имѣютъ несравненно меньшее значеніе. Качество балласта весьма цѣнно въ томъ смыслѣ, что онъ долженъ обладать удовлетворительными свойствами въ смыслѣ пропусканія воды, неразмываемости и нераздуваемости, однообразной крупности зерна при отсутствіи сколько нибудь значительной примѣси глины, сыпучестью и нѣкоторой упругостью въ массѣ. То обстоятельство, что балластъ пружинитъ на 1—3 мм., весьма цѣнно. Если онъ совсѣмъ не пружинитъ, какъ это замѣчается у очень мелкихъ и глинистыхъ балластовъ, то послѣ опусканія данной шпалы, когда она опять приподнимается въ силу пружиненія рельсовъ, подъ ней остается прозоръ, увеличивающійся съ теченіемъ времени. По мнѣнію этого дорожнаго мастера, такъ какъ давленіе шпалы распространяется внизъ подъ нѣкоторымъ угломъ, то участіе въ противодѣйствіи давленію принимаетъ не только балластъ подъ шпалами, но и между ними и, хотя въ маломъ объемѣ балластъ неупругъ, но во всей своей массѣ онъ, при условіи надлежащей вездѣ одинаковой подбивки, заставляя опустившуюся на 2—4 мм. шпалу вернуться на свое прежнее мѣсто.

По его мнѣнію преобладающее значеніе для содержанія пути имѣютъ всякаго рода горизонтальныя движенія паровоза; вертикальныя добавочныя давленія, проявляющіяся въ усиленіи статическаго давленія, весьма мало опасны для пути. Если бы только ходъ паровоза былъ покойнѣе, не было бы частей съ переменнымъ движеніемъ.

то по нынѣшнимъ путямъ можно было бы пускать паровозы не только вдвое, но и втрое болѣе тяжелые, чѣмъ теперь. Значительныя скорости болѣе опасны для пути, чѣмъ вѣсъ, потому что при большихъ скоростяхъ, достигаетъ большихъ размѣровъ всякаго рода и качка, и вліяніе паровоза, которая только при тщательномъ уходѣ за путемъ и вполнѣ своевременной подбивкой ослабѣвшихъ мѣстъ не дѣлаются весьма опасными. Въ доказательство того, что боковыя усилія велики и опасны, онъ указываетъ, что изъ опыта видно, какъ рискованно поднимать рельсъ выше шпаль (напр. зимой на подшпальники при пучинахъ) больше, чѣмъ на 10—12 мм., между тѣмъ какъ устойчивость, въ предположеніи дѣйствія только вертикальныхъ силъ, при этомъ условіи не уменьшается.

Поездка 19 Мая въ Новый Портъ.

Выѣхалъ въ 12 час. 20 м., до Новаго Порта (14 вер.) доѣхалъ въ 1 часъ, оттуда, съ заѣздомъ на С. П. Б. Варшавскую ж. д. (22½ вер.), вернулся въ 2 часа 40 м.

Ѣхалъ пассажирскимъ паровозомъ сер. Н № 219. На обратномъ пути становился на передній конецъ паровоза. Тамъ меньше трясетъ, хотя тотъ машиниста кажется, что качка передняго конца котла сильная. Надъ осями и по срединѣ длины паровоза не замѣтно усиленія качки. Наблюдалъ разбѣги на шейкахъ осей. Они не вполнѣ ритмичны; по величинѣ не менѣе 5 мм.

27 Мая ѣздилъ по только что открытой для движенія Вологодской дорогѣ до ст. Назін (63½ вер.),—туда на паровозѣ сер. Об. № 1071, назадъ на паровозѣ сер. Об. № 247. Не замѣтилъ ощутительной разницы въ движеніи по этой дорогѣ сравнительно съ Николаевской. Путь представляется вполнѣ прочно и хорошо устроеннымъ. Рельсы 24-хъ фунтовые съ 6-ю болтами, балластъ очень мелкій, но однороднаго состава и чистый; толщина слоя большая; шпалы прикрыты балластомъ. Вообще замѣтилъ, что величина качаній зависитъ отъ состоянія паровоза. Одинъ паровозъ того же типа и по тому же пути везъ значительно спокойнѣе, чѣмъ другой. Каждому паровозу какъ бы соответствуютъ извѣстныя границы скоростей, при которыхъ движеніе почти совсѣмъ спокойно, если оно уже установится. Всего больше бросаетъ паровозъ изъ стороны въ сторону при переходѣ на кривыя и съ кривыхъ.

Ходъ по уклону, особенно съ закрытымъ регуляторомъ, самый неспокойный. Зависитъ ли это отъ того, что поездъ тогда не такъ натягиваетъ паровозъ, или, что тогда мала инерція, чтобы удерживать отъ второстепенныхъ движеній, или наоборотъ, велика и всѣ неровности пути производятъ большее впечатлѣніе на паровозъ. При спокойномъ, установившемся движеніи паровозъ идетъ почти по прямой или правильной кривой въ кривыхъ значительныхъ радіусовъ, и только отъ времени до времени его качнетъ въ сторону какъ бы отъ того, что онъ осѣлъ сразу на какую нибудь ось, при чемъ не всѣ колеса на одномъ уровнѣ, что происходитъ отъ не вполнѣ вырехтованнаго или подбитаго пути.

Примѣчаніе:

На Николаевской дорогѣ на прямыхъ всегда путь держится одной стороною (правой) на 2 мм. выше лѣвой. Это ведетъ къ уменьшенію качки и толчковъ.

При движеніи поѣзда по меридіонально направленному пути съ сѣвера на югъ онъ переходитъ на смежную точку колеи, имѣющую линейную скорость вращенія вокругъ земной оси больше, и какъ бы отстаетъ отъ пути. Поэтому полезно, для избѣжанія схода вбокъ, приподнять правый рельсъ. Тоже и при движеніи съ юга на сѣверъ. Здѣсь полная аналогія съ теоріей Бэра оподмывъ правыхъ береговъ рѣкъ меридіональнаго направленія. Не могъ узнать, заведено ли указанное повышение на Николаевской дорогѣ еще строившими ее Австрійцами изъ теоретическихъ соображеній или же практически ощутилась въ немъ надобность послѣ.

IV. Физическія и механическія свойства балласта.

Результаты
измѣреній
балластныхъ
песковъ
Ряз.-Ураль-
ской ж. д.

§. 22. Отъ песка, употребляемаго на желѣзнодорожный балластъ, обыкновенно требуются два качества: 1) чтобы онъ, по возможности, былъ крупнѣе и 2) чтобы онъ имѣлъ возможно меньшую примѣсь глины. Для мелкаго песку нѣкоторая примѣсь глины считается необходимой для уменьшенія выдуванія песка вѣтромъ. Такимъ образомъ въ сужденіи о балластѣ прежде всего имѣетъ значеніе его крупность. Чаше всего приходится, за неимѣніемъ болѣе точныхъ данныхъ, характеризовать данный матеріалъ названіемъ: щебень, галька, гравій, песокъ, причемъ послѣдній опредѣляется какъ крупный, средній или мелкій. Не довольствуясь такимъ голословнымъ подраздѣленіемъ песковъ, иногда опредѣляютъ крупность ихъ непосредственнымъ измѣреніемъ путемъ просѣиванія ихъ черезъ сита. Для сравнимости результатовъ просѣиванія и для болѣе однообразной характеристики разныхъ песковъ казалась бы необходимымъ различать, на примѣръ, три категоріи: 1) песокъ, 2) песокъ съ примѣсью гравія и 3) песокъ съ примѣсью гравія и гальки, причемъ для каждого балластнаго матеріала должна быть просѣиваніемъ опредѣлена средняя крупность зеренъ отдѣльно для каждой изъ составныхъ частей. Можно условиться называть пескомъ зерна крупностью меньше 1 мм., гравіемъ зерна размѣромъ отъ 1 до 5 мм., а болѣе крупныя галькой. Для установленія средней крупности опредѣляемъ процентное содержаніе просѣянныхъ остатковъ на ситахъ съ разной величиной отверстій и, называя буквами d_1 , d_2 средніе діаметры отверстій для каждыхъ двухъ послѣдовательныхъ ситъ и c_1 , c_2 , c_3 задержанныя на нихъ количества песку въ процентахъ, находимъ среднюю крупность по формулѣ $\frac{c_1 d_1 + c_2 d_2 + \dots}{100}$.

Въ Лабораторіи при Управленіи Рязанско-Уральской желѣзной дороги были измѣрены балласты изъ 54 карьеровъ этой дороги. Оказалось ¹⁾, что примѣсь гравія (въ количествѣ отъ 3 до 50 %) обнаружи-

¹⁾ Вѣстникъ Саратовскаго Отд. Имп. Русск. Технич. Общества 1903 г.

лась только въ 7 пробахъ, такъ что остальные 47 карьеровъ содержатъ балласть изъ одного песка съ крупностью зеренъ не свыше 1 мм. Средняя крупность песка для всѣхъ 54 карьеровъ колеблется между 0,2 и 0,7 мм. При этомъ примѣсь гравія оказалась у песковъ съ крупностью свыше 0,4 мм., примѣсь же глины (отъ 1 до 16%) оказалась у всѣхъ песковъ, но въ значительномъ количествѣ (8 до 16%) только у сравнительно мелкихъ, т. е. съ среднею крупностью зеренъ до 0,4 мм. Такимъ образомъ, судя по измѣреніямъ балластовъ Рязанско-Уральской желѣзной дороги, можно вообще, въ случаяхъ неимѣнія подъ рукою результатовъ испытаній, принимать, что средняя крупность песка, содержащаго примѣсь гравія, является всегда выше 0,4 мм. Пески крупностью 0,4 мм. и выше какъ содержащіе гравій, такъ и не содержащіе его, рѣдко имѣютъ значительную (свыше 8%) примѣсь глины. Для сужденія о качествахъ приведенныхъ въ таблицѣ песковъ, какъ матеріала для балластировки, не приведено въ статьѣ никакихъ данныхъ. Въ примѣчаніяхъ къ означенной таблицѣ говорится, что можно принять слѣдующія нормы: для высшихъ сортовъ среднюю крупность болѣе 0,5 мм., для среднихъ—крупность 0,3—0,5 мм. и для низшихъ крупность менѣе 0,3 мм. Примѣсь гравія повышаетъ качества балласта. Для болѣе крупныхъ песковъ желательно по возможности малое содержаніе глины; въ мелкомъ пескѣ иногда желательна нѣкоторая (не менѣе 1%) примѣсь глины, безъ которой песокъ легко выдувается вѣтромъ.

§ 23. Въ Лабораторіи Томскаго Технологическаго Института были мною изслѣдованы образцы матеріала изъ нѣкоторыхъ балластьеровъ Сибирской желѣзной дороги.

Лабораторные опыты съ балластами Сибирской ж. д.

Была измѣрена крупность зеренъ просѣиваніемъ черезъ сита съ отверстіями¹⁾ діаметромъ 5 мм., 4, 3, $2\frac{1}{2}$, 2, $1\frac{3}{4}$, $1\frac{1}{4}$, 0,9; 0,8; 0,7; 0,6; 0,5; 0,4 и 0,2. По указанному выше способу, имѣя количество остатковъ на каждомъ изъ этихъ ситъ, сдѣланъ былъ подсчетъ средней крупности каждаго изъ этихъ песковъ.

Для каждаго изъ нихъ было опредѣлено отмучиваніемъ содержаніе глины, удѣльный вѣсъ, вѣсъ литра въ рыхломъ состояніи, приближенный уголъ естественнаго откоса, а также охарактеризована степень просыхаемости и сплываемости этихъ песковъ.

Данныя эти собраны въ слѣдующей таблицѣ I.

Величины остатковъ на разныхъ ситахъ выдѣлены въ таблицу II.

¹⁾ Круглыя отверстія были пробиты въ цинковой жести при помощи специально изготовленныхъ стальныхъ керновъ.

Таблица № 1.

№ балластовъ.	Названіе балласта.	Крупность и составъ балласта	Содержаніе глины въ %.	Удѣльный вѣсъ.	Вѣсъ литра въ рыхломъ состоян.	Уголъ естествен. откоса въ град. (приблизит.)	Характеристика общая.	Степень просыха-емости и сплаци-ваемости.	Кoeffиц. балласт. изъ опытовъ.
1	Томскій круп- ный (81 в., Томск. вѣтка).	11% гальки ср. кр. 10 мм., 18% гравія ср. кр. 2,3 мм., 71% песку ср. кр. 0,3 мм.	15	2,56	1310 грам.	33	Овражный посредственнаго качества.	Просыхаетъ хорошо, сильно сплацивается.	$C=1,5$
		ср. кр. 1,7 мм.						Просыхаетъ плохо, остаётся сыпучимъ.	$C'=2,5.$
2	Томскій мелкій (81 вер., Том-ская вѣтка).	1% гравія ср. кр. 3,2 мм., 99% песку ср. кр. 0,1 мм.	27	2,29	1028	36		Просыхаетъ хоро-шо, весьма сильно сплацивается.	$C=2$
		ср. кр. 0,1 мм.						Просыхаетъ хоро-шо, весьма сильно сплацивается.	$C'=2.$
3	14 уч. Сибирск. ж. д., Вѣловск. 1859. вер. (бе-рега Чулымъ).	14% гальки ср. кр. 7,4 мм., 18% гравія ср. кр. 2,5 мм., 68% песку ср. кр. 0,4 мм.	2	2,8	1627	28	Крупный гравій, почти не вымывается и не выдувается.	Просыхаетъ довольно хорошо, нѣсколько сплацивается.	$C=1,5$
		ср. кр. 1,8 мм.						Просыхаетъ довольно хорошо, нѣсколько сплацивается.	$C'=1,5.$
4	Дѣскій средн., 12-го участка Сибирской же-лѣзной дор.	40% гальки ср. кр. 10 мм., 28% гравія ср. кр. 2,3 мм., 32% песку ср. кр. 0,6 мм.	1	3,24	1826	30	Рѣчной лучшаго ка-чества. Крупн. грав., почти не вымывает-ся и не выдувается.	Просыхаетъ доволь-но хорошо, остаётся сыпучимъ.	
		ср. кр. 4,8 мм.						Просыхаетъ доволь-но хорошо, остаётся сыпучимъ.	
5	Дѣскій мелкій, 12 уч. Сибирск. ж. доролж.	8% гальки ср. кр. 8 мм., 29% гравія ср. кр. 1,9 мм., 63% песку ср. кр. 0,5 мм.	1	2,59	1628	27	Рѣчной лучшаго ка-чества; крупн. грав., почти не вымывает-ся и не выдувается.	Просыхаетъ плохо, остаётся сыпучимъ.	
		ср. кр. 1,5 мм.						Просыхаетъ плохо, остаётся сыпучимъ.	

№ балластовъ.	Названіе балласта.	Крупность и составъ балласта.	Содержаніе глины въ %.	Удѣльный вѣсъ.	Вѣсъ либра въ рыхломъ состоян.	Уголъ естествен. откоса въ градусахъ.	Характеристика общая.	Степень просыхаемости и сплываемости.	Кoeffиц. балласт. изъ опытовъ.
6	Чурловскій мелкій, 9 вер. 1 участка.	Песокъ средней крупности 0,1 мм.	4	2,59	1333	23	Изъ песчаного грунта въ степи, мелкій, выдуваніе и вымываніе около 10%.	Просыхаетъ хорошо, остается въ видѣ хрупкой массы.	C=2 C'=2,5.
7	Чурловскій крупный, 9-й версты 1 уч.	Гравія 22% ср. кр. 1,6 мм., песку 78% ср. кр. 0,4 мм. Ср. кр. 0,7 мм.	2	2,69	1610	31		Просыхаетъ хорошо, довольно сильно сплываемъ.	C= C'=2,5 C'=3.
8	Чурловскій средній, 9 версты.	Гравія 27% ср. кр. 1,6 мм., песку 73% ср. кр. 0,4 мм. Ср. кр. 0,7 мм.	4	2,65	1610	28		Просыхаетъ не очень хорошо, нѣсколько сплываемъ.	C= C'=2,5 C'=3
9	9 участка.	64% гальки ср. кр. 6,6 мм., 32% гравія ср. кр. 2,9 мм., 4% песку ср. кр. 0,4 мм.	2	2,55	1550	32	Хорошій мелкій гравій съ овражнимъ пескомъ.	Просыхаетъ хорошо, остается сыпучимъ.	C= C'=2,5 C'=3,5
10	9 участка № 2 Кривошековск., 1326 вер.	50% гальки ср. кр. 9,5 мм., 23% гравія ср. кр. 2,3 мм., 27% песку ср. кр. 0,5 мм. Ср. кр. 5,4 мм.	1	3,18	1763	30	Хорошій мелкій гравій съ овражнимъ пескомъ.	Просыхаетъ довольно хорошо, остается сыпучимъ.	C=2 C'=3

№ балластовъ.	Названіе балласта.	Крупность и составъ балласта.	Содержаніе глины въ %.	Удельный вѣсъ.	Вѣсъ литра въ рыхломъ состоян.	Уголъ естествен. откоса въ градусахъ.	Характеристика общая.	Степень просыхаемости и сплачиваемости.	Кoeffиц. балласт изъ опытовъ.
11	Азейскій, 22 уч. 2692 вер.	42% гальки ср. кр. 1 2 мм., 4% гравія ср. кр. 2,2 мм., 54% песку ср. кр. 0,4 мм. ср. кр. 5,2 мм.	2	2,59	1808	27	Рѣчной, хорошо держится въ пути, мало вымывается и почти не выдувается.	Просыхаетъ очень хорошо, остается сыпуч.	$C=2$ $C'=3$
12	5-го участка, № 1 Омскій.	3% гравія ср. кр. 1,3 мм., 97% песку ср. кр. 0,3 мм. ср. кр. 0,3 мм.	5	2,55	1510	30	Рѣчной, хорошо держится въ пути, мало вымывается и почти не выдувается.	Просыхаетъ плохо, остается довольно сыпучимъ.	$C=2$ $C'=$ $=2,5$
13	5-го участка, № 2 Омскій.	10% гравія ср. кр. 1,3 мм., 90% песку ср. кр. 0,3 мм. ср. кр. 0,4 мм.	12	2,55	1200	33	Изъ песчаного грунта въ степи. Мелкій, глинистый, выдуваніе и вымываніе — 5—20%.	Просыхаетъ плохо, остается нѣсколько сыпучимъ.	$C=$ $=1,5$ $C=2$
14	Злобинскій, 2058 вер. 16 уч.	62% гальки ср. кр. 1 5 мм., 9% гравія ср. кр. 2,3 мм., 28% песку ср. кр. 0,3 мм. ср. кр. 9,7 мм.	3	2,69	1990	33	Овражный, хорошо держится въ пути, мало вымывается и почти не выдувается.	Просыхаетъ хорошо, остается сыпучимъ.	$C=$ $=1,5$ $C=$ $=2,5$
15	Строительный песокъ Домскій.	Песокъ ср. крупн. 0,2 мм.	10	2,5	1500	35	Овражный, посредствен. качества.	Просыхаетъ хорошо, сплачивается.	
16	Щебень построечный, изъ песчанника.	Средній размѣръ 30—60 мм.							$C=$ $=1,5$ $C'=2$

Содержаніе въ балластѣ частей разной крупности (въ граммахъ).

Таблица 2.

№ балластовъ.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Крупность зерна.															
отъ 9 до 16 мм.	54	0	8—15.35	14—25.117	7—14.39				7—15.115	10—18.180	12—22.193			25—40.95	
— 5 — 9 —	54		6—7.48	9—14.87					8—10.104	9—12.79				20—25.75	
— 4 — 5 —	17	5	5—6.53	7—9.86	5—7.40				5—7.397	5—8.171	7—9.39			14—20.93	
— 3 — 4 —	24			5—7.112							5—7.91			10—14.135	
— 2 1/2 — 3 —	16	2		31	10				127	51	15			8—10.55	
— 2 — 2 1/2 —	20			41	19				155	69	12			6—8.57	
— 1 3/4 — 2 —	35	3		23	12				45	24	4			5—6.95	
— 1 1/4 — 1 3/4 —	40			29	27				59	32	5				
— 0,9 — 1 1/4 —	25	3		53	68				40	39	6				
— 0,8 — 0,9 —	47			57	93				22	35	8				
— 0,7 — 0,8 —	11	2		47	57				47	34	10				
— 0,6 — 0,7 —	24	2		92	127				6	53	24				
— 0,5 — 0,6 —	75	5		104	137				3	41	49				
— 0,4 — 0,5 —	65	3		79	98				3	31	106				
— 0,2 — 0,4 —	227	40		152	60				5	72	177				
— 0 — 0,2 —	254	935		8	20				16	39	40				

Испытаніе только что упомянутыхъ балластовъ на сдавливаніе производилось въ спеціальномъ ящикѣ (чертежъ 13) съ толстыми стѣнками и снабженномъ въ средней части двумя желѣзными хомутами для удерживанія боковъ ящика отъ распиранія при большихъ давленіяхъ на насыпанный въ ящикъ песокъ. Ширина свободного пространства внутри ящика была 23 см., а высота этого пространства 19 см. Для того, чтобы изучить, не вліяетъ ли въ большой степени толщина слоя, а также болѣе или менѣе близкое сосѣдство со шпалой жесткихъ стѣнокъ на характеръ передачи давленія отъ шпалы балласту, заготовлены были для этого ящика 2 доски, которые можно положить одну или обѣ вмѣстѣ на дно ящика и еще двѣ, которые можно приставлять внутри къ боковымъ его стѣнкамъ съ цѣлю уменьшить ширину просвѣта. Длина ящика (въ свѣту 143 см.) позволяла уложить въ немъ на слой песку модель шпалы въ $\frac{1}{4}$ натуральной величины (сравнительно съ типомъ № 1 сосновыхъ шпалъ, поставляемыхъ для магистральныхъ дорогъ). Для изученія зависимости коэффиціента балласта отъ абсолютной величины постели шпалъ опыты производились параллельно и съ моделью той-же шпалы въ $\frac{1}{4}$ натуральной величины, а также съ желѣзной двутавровой балкой длиной и шириной полки подходящей къ послѣдней модели деревянной шпалы (черт. 14).

Опыты производились слѣдующимъ образомъ: на слой балласта различнаго сѣченія (шириной отъ 16 до 23 см. и высотой отъ 8 до 19 см.) укладывалась шпала $\frac{1}{2}$ натуральной величины, на нее въ мѣстахъ, соотвѣствующихъ рельсамъ, клались двѣ толстыя желѣзныя подкладки и уже на нихъ давила подвижная доска машины Ольсена, могущей развить и измѣрить усиліе до 100 тоннъ. Этой машиной пришлось пользоваться за невозможностью установить на базисъ иной изъ имѣющихся въ Лабораторіи машинъ столь крупный ящикъ. Ящикъ былъ установленъ въ неизмѣнномъ положеніи между колоннами на нижней доскѣ машины, снабженной консолями. Усиліе доводилось до 4, самое большее 10 килограмм. на кв. сантиметръ подошвы шпалы или балки, что соотвѣтствовало приблизительно единичному давленію на балластъ въ 3—5 разъ больше, чѣмъ наибольшее статическое давленіе отъ самыхъ тяжелыхъ паровозовъ при самыхъ неблагоприятныхъ условіяхъ. Предварительно дѣлалось нажатіе на шпалу въ 20—50 кл. для того, чтобы шпала по возможности по всей подошвѣ коснулась балласта и тогда устанавливался на 0 стрѣлочный указатель рычажнаго прибора, дающаго возможность измѣрить разстояніе по вертикали между подвижной доской машины и верхней гранью ящика, стоящаго неподвижно. Замѣчая опусканіе и приподнятіе подвижной доски при измѣненіи нажатія на балластъ, можно было опредѣлять сжатіе слоя балласта и заключать,

насколько тотъ или иной балластъ остается упругимъ. Для изслѣдованія упругости дѣлалось такъ, что увеличеніе нагрузки, положимъ, черезъ 100 или 200 кигр., производилось нѣсколько разъ, каждый разъ снявши добавочную нагрузку сейчасъ послѣ прибавленія.

Общимъ правиломъ явилось, что при снятіи нагрузки, добавленной только что, или всей имѣющейся,—верхняя доска, а слѣдовательно и верхняя поверхность балластного слоя, приподымалась весьма мало, по большей части на 2 мм., а при давленіи свыше $0,5 \frac{\text{кил}}{\text{см}^2}$ и совсѣмъ не приподымалась. Общій выводъ получился такой, что балласты плохо подбитые весьма мало упруги и въ тѣхъ границахъ, въ какихъ они обладаютъ этимъ свойствомъ, величина упругости остается [почти одинаковой для различныхъ балластовъ. Обнаружено, что при желѣзной балкѣ упругость того же балласта меньше, чѣмъ при деревянной. Это можно объяснить тѣмъ, что сама деревянная шпала сжимается и получается впечатлѣніе, что сжимается балластъ, или тѣмъ, что невыгибающаяся желѣзная балка болѣе равномерно передаетъ давленіе на балластъ и поэтому она, нисколько не пружина, свободнѣе проникаетъ въ него. Точно также можно усмотрѣть, что пружиненіе балласта увеличивается съ шириной подошвы шпалы. По результатамъ наблюденій нанесены были для всѣхъ балластовъ графики (чертежъ 15 и 15') зависимости сжатія слоя отъ нагрузки на каждую единицу поверхности балласта.

Въ предѣлахъ отъ 1 до $3 \frac{\text{кил}}{\text{см}^2}$ можно считать эти линіи зависимости довольно плавными и принимать тангенсъ угла наклоненія ихъ къ горизонту за коэффициентъ даннаго балласта— C' . Себственно, когда говорятъ о коэффициентѣ балласта (коэффициентъ постели), всегда до сихъ поръ подразумѣвалось, что разсматривается балластъ въ предѣлахъ его упругости. Полученныя изъ графиковъ вышесказанныя значенія C' не будутъ соответствовать этому условію, такъ какъ испытанные 14 сортовъ балласта обнаружили значительную упругость только до давленія 0,5, а много 1 кил. на см^2 . До этихъ границъ всѣ линіи зависимости идутъ болѣе полого, чѣмъ въ предѣлахъ давленія $1-3 \frac{\text{кил}}{\text{см}^2}$, всего болѣе интересныхъ практически, такъ какъ въ нихъ содержатся дѣйствительныя давленія на балластъ отъ подвижныхъ грузовъ. Будемъ дальше называть полученный изъ графиковъ коэффициентъ каждаго балласта до предѣла, когда его упругость исчезаетъ, черезъ C , а дальше черезъ C' .

Преобладающимъ коэффициентомъ въ опытахъ получился $C=2$, а предѣлы колебаній для C' —отъ 1,5 до 3,5 (см. таблицу 1).

Разсмотримъ два крайніе типа, между которыми находится каждый балласть,—щебень и мелкій песокъ. Щебеночный слой при достаточной ширинѣ подошвы шпалы является нѣсколько упругимъ (напримѣръ при давленіи $0,4 \frac{\text{кл}}{\text{см}^2}$ углубленіе было 4 мм., по снятіи давленія углубленіе стало 3 мм.). При давленіи свыше $1 \frac{\text{кл}}{\text{см}^2}$ упругая часть деформации становится значительно менѣе. При малой ширинѣ подошвы шпалы упругой деформации совсѣмъ не замѣчается.

Мелкій песокъ совсѣмъ не упругъ. Приподнятіе шпалы по снятіи нагрузки замѣчается только на величину сжатія въ поперечномъ направленіи самой шпалы. При крупномъ матеріалѣ сопротивляемость балласта, т. е. коэффициентъ C' , зависитъ отъ ширины постели шпалы, но не въ столь значительной степени, какъ это обнаруживается для мелкихъ матеріаловъ.

Изъ опытовъ получилось, что наибольшее C' далъ балласть крупностью зерна въ среднемъ 5 мм. (балласть съ 9 уч. № 1— $C'=3,5$). Матеріалы, имѣющіе большую среднюю крупность, но содержащіе большую примѣсь мелкаго песку, т. е. матеріалы, такъ сказать, менѣе однородные по крупности зеренъ, дали для C' меньшія значенія. Для щебня, а также для крупной гальки получились C' менѣе, чѣмъ для крупнаго гравія.

Балласть 14 участка, несмотря на значительную крупность (1,8 мм.), далъ результаты сравнительно худшіе, чѣмъ мелкій песокъ. Составъ балласта 14 участка слѣдующій: гальки 14%, гравія 18% и песку 68%. Балласть 9 участка № 1 далъ лучшіе результаты, чѣмъ 9 уч. № 2, хотя средняя крупность № 2 нѣсколько большая, но оказывается, что у перваго примѣсь песку только 4%, тогда какъ у втораго она 27%. Балласть 5 участка № 1 нѣсколько мельче, чѣмъ 5 участка № 2, сопротивляемость же онъ показалъ большую, такъ какъ содержалъ менѣе гравія. Томскій болѣе крупный далъ результаты худшіе, чѣмъ болѣе мелкій—въ виду однородности послѣдняго. Не замѣчено, чтобы примѣсь глины оказывала вліяніе на C' въ томъ случаѣ, если она не вліяла сколько нибудь значительно на однородность въ смыслѣ крупности.

Если уменьшить подошву шпалы, C' , вообще говоря, падаетъ довольно значительно, но у балластовъ средняго качества небольшое колебаніе ширины подошвы не отражается замѣтно на сопротивленіи. При увеличеніи толщины слоя C' увеличивается, но очень медленно.

Смоченный балласть становится еще менѣе упругимъ; его сопротивляемость вообще меньше, чѣмъ сухого. Уплотненіе песка имѣетъ вліяніе на его сопротивляемость. Это особенно замѣтно для мелкихъ

песковъ. Повторность нажатія и предварительное уплотненіе балласта ведетъ за собой увеличеніе сопротивляемости въ той же мѣрѣ для смоченаго, какъ для сухого балласта.

§ 24. Опыты, могущіе дать строго провѣренныя научныя положенія, должны быть обставлены почти такъ, какъ они производятся въ Лабораторіяхъ, т. е. ставя матеріалы для различныхъ отдѣльныхъ испытаній въ одинаковыя условія и наблюдая вліяніе измѣненія тѣхъ или другихъ факторовъ.

Необходимость систематическихъ наблюдений на особой опытной станціи надъ вліяніемъ статической нагрузки на разные части верхняго строения.

Это имѣлъ въ виду Шубертъ, производя свои опыты съ моделями (въ 1/40 н. в.) желѣзнодорожнаго пути. Кромѣ неполноты подобнаго изученія въ такомъ сложномъ дѣлѣ, какъ деформация желѣзнодорожнаго пути подъ вліяніемъ нагрузки статической и динамической, главной помѣхой къ выясненію свойствъ балласта является при подобномъ методѣ то, что въ моделяхъ крупность зеренъ балласта является несоразмѣренной съ размѣрами прочихъ частей пути. Большинство опытовъ, на которыхъ нынѣ основывается изученіе верхняго строенія пути, продѣланы, передвигая паровозы надъ выбраннымъ для наблюдений пунктомъ эксплуатируемаго пути. Эти опыты до сихъ поръ доставили мало точныхъ результатовъ и, не будучи вполне систематическими, дали только общее понятіе о колебаніяхъ верхней части полотна и рельсовъ при проходѣ подвижнаго состава.

Для рѣшенія многихъ вопросовъ, касающихся пути, и, главнымъ образомъ, балласта, являются необходимыми опыты на отдѣльномъ желѣзнодорожномъ пути, предоставленномъ для этой цѣли или устроенномъ спеціально во всемъ въ точности и въ масштабѣ настоящаго желѣзнодорожнаго пути. Нагрузка пути движущимся паровозомъ необходима для изученія характера колебаній желѣзнодорожнаго пути, но для полученія самыхъ важныхъ первоначальныхъ данныхъ, — именно о деформацияхъ пути при статической нагрузкѣ, предпочтительно помѣстить надъ опытнымъ путемъ прессъ съ манометромъ, что позволитъ съ большей точностью прикладывать усиліе въ намѣченныхъ точкахъ пути, а главное, измѣрять точно величину нагрузки и варіировать ее, что невозможно, когда въ качествѣ груза имѣемъ въ распоряженіи паровозъ. Установка точныхъ аппаратовъ для измѣренія получающихся деформаций является легко исполнимой только при условіи такого отдѣльнаго пути съ прессомъ. На этомъ пути можно прослѣдить вліяніе профиля рельсовъ, продѣлывая тѣ-же опыты съ рельсами различнаго вѣса; можно, мѣняя балластъ, опредѣлить точнымъ образомъ значеніе различныхъ его свойствъ для устойчивости пути, наконецъ можно опредѣлить предѣлъ распространенія внутри насыпи сколько нибудь замѣтныхъ

колебаній при ударахъ объ рельсы, а также степень прочности балластного слоя при вліяніи повторныхъ нагрузокъ. Схема, подобной испытательной станціи, проектируемой при Кабинетѣ Строительнаго Искусства и Дорогъ въ Томскомъ Технологическомъ Институтѣ, представлена на чертежѣ 16. Подъ особымъ навѣсомъ устроена насыпь высотой около 2-хъ саж., шириной по верху 2,60 саж., съ откосами 1:1,5 и помость для расположенія гидравлическаго прессы съ манометромъ (можетъ быть примѣненъ также упомянутый въ началѣ настоящей статьи динамометръ Колле, изображенный на чертежѣ 3). Низъ помоста расположенъ на высотѣ около $2\frac{1}{2}$ саж. надъ уровнемъ земли.

Прессъ долженъ быть настолько подвижнымъ, чтобы силу можно было приложить къ любой точкѣ на протяженіи не менѣе 2-хъ пролетовъ между шпалами. Доска, къ которой прикрѣплена верхняя его часть, скользитъ въ другой такой же чугунной доскѣ и онѣ передвигаются въ поперечномъ направленіи между направляющими желѣзными балками. Сообразно съ вводимой нынѣ для расчета пути нагрузкой нормальнаго паровознаго колеса въ 10 т., прессъ можетъ быть поставленъ силой до 30 тоннъ и на это усиліе рассчитаны соответствующія части конструкции рамы и помоста, который предполагается весь деревянный, на сваяхъ.

Независимо отъ этихъ опытовъ со статической нагрузкой, на пути необходимо произвести по программѣ, выработанной на основаніи результатовъ первыхъ опытовъ, цѣлый рядъ наблюденій надъ колебаніемъ и деформациями пути во время и послѣ прохода по немъ разныхъ нагрузокъ, движущихся съ различными скоростями. Это предполагается сдѣлать въ нѣсколькихъ пунктахъ Сибирской желѣзной дороги.

V. Свѣдѣнія о балластахъ заграничныхъ дорогъ.

Техническая
сторона
вопроса.

§ 25. Вопросъ о балластѣ специально впервые разсматривался на желѣзнодорожномъ конгрессѣ въ 1900 году. По этому вопросу не имѣется отдѣльныхъ трактатовъ. Нѣсколько подробнѣе излагается онъ въ нѣкоторыхъ общихъ сочиненіяхъ по желѣзнодорожному дѣлу и въ бюллетеняхъ названныхъ Конгрессовъ напечатаны два доклада: одинъ Bauchal'a, содержащій свѣдѣнія о балластахъ главнымъ образомъ Европейскихъ желѣзныхъ дорогъ, и другой Feldrauch'a о балластѣ Американскихъ желѣзныхъ дорогъ. Къ этимъ докладамъ приобщена въ качествѣ приложенія замѣтка Васютинскаго объ его опытахъ 1898 года на Варшавско-Вѣнской жел. дорогѣ.

Нѣкоторыя свѣдѣнія о балластѣ на заграничныхъ дорогахъ имѣются въ докладахъ Лондонскому желѣзнодорожному Конгрессу Ast'a

и Hunt'a по вопросу о нормальномъ типѣ верхняго строенія пути для дорогъ, на которыхъ обращаются поѣзда большой скорости.

Толщина балласта подъ подошвою шпалы на различныхъ дорогахъ слѣдующая:

На Австрійскихъ—0,10—0,24—0,30 м.

На Французскихъ—0,22—0,25—0,30 м. и подъ металлическими шпалами 0,50 м.

На Бельгійскихъ—0,34 м.

На Англійскихъ—0,45 м.

Балластъ въ большинствѣ случаевъ состоитъ изъ крупнаго гравія или щебня.

На Голландскихъ желѣзныхъ дорогахъ верхняя часть балласта состоитъ изъ песку, а нижняя толщиной—10—15 см. изъ гравія.

На всѣхъ заграничныхъ дорогахъ обращено особое вниманіе на осушеніе основанія балластнаго слоя дренажированіемъ и на то, чтобы балластъ былъ безусловно водопроницаемъ, а основаніе балластнаго слоя, т. е. поверхность полотна, водонепроницаема. Съ своей стороны Астъ полагаетъ, что толщина балластнаго слоя должна зависѣть отъ свойствъ грунта подъ балластомъ. Для предѣльнаго сопротивленія, по его мнѣнію, толщина должна быть не менѣе 0,4 м., при чемъ подъ подошвою шпаль не менѣе 0,3 м. Изъ доклада Hunt'a слѣдуетъ, что въ Англій балластъ состоитъ большею частью изъ двухъ слоевъ—нижняго и верхняго, при чемъ верхній балластъ служитъ для подбивки шпаль. Нижній балластъ всегда крупнѣе верхняго и состоитъ изъ камня, укладываемого отъ руки, или изъ крупнаго щебня и служитъ главнымъ образомъ для осушенія какъ дренажъ, а верхній балластъ, болѣе мелкій состоитъ изъ гравія, шлака, мелкаго щебня, золы. Толщина нижняго балластнаго слоя—12", верхняго 6—12", причемъ шпала или вовсе не покрывается балластомъ, или всего на толщину 1"—2". Такимъ образомъ толщина балласта до подошвы рельсовъ—17—22", а если считать толщину шпаль въ 5", то высота балласта подъ подошвой измѣняется отъ 12 до 17" (0,14 с. до 0,20 с.).

Въ Америкѣ нижній балластный слой, состоитъ изъ камня или щебня и имѣетъ толщину 6—9", верхній, состоящій изъ гравія или мелкаго щебня, имѣетъ толщину 5—12", считая отъ верха шпаль. Общая толщина обоихъ слоевъ измѣняется отъ 13 до 21", а за вычетомъ толщины шпаль—7—15" (0,083—0,18 с.).

Приведемъ еще нѣкоторыя свѣдѣнія о фактическомъ состояніи балласта за границей и о томъ, какія тамъ къ нему предъявляются требованія.

Установившееся у русских инженеровъ мнѣніе о качествѣ балластовъ на дорогахъ Западной Европы таково, что имѣ, главнымъ образомъ, обязана заграница возможности съ безопасностью допускать столь большія скорости движенія и столь значительному спокойствію движенія поѣздовъ. На магистральныхъ заграницей, дѣйствительно, прекрасный балластъ и состоящій изъ столь крѣпкаго матеріала, что онъ изнашивается очень мало даже при употребленіи металлическихъ шпаль. Для балласта тамъ примѣняютъ кромѣ естественныхъ матеріаловъ также и искусственные. Первые примѣняются или послѣ известной переработки (камень разбивается на щебень, галька и гравій отсѣиваются и иногда промываются), или прямо въ такомъ видѣ, какъ добываются изъ карьеровъ (гравій, песокъ), если они очень чисты и равномернаго зерна. Щебень для верхняго строенія желѣзнодорожнаго пути ¹⁾ готовится тѣхъ же размѣровъ и такими же способами, какъ для шоссе, часто на особыхъ заводахъ, которыхъ особенно много въ Бельгіи. Выборъ между ручной бойкой и машинной зависитъ отъ мѣстныхъ условій. Камне-дробилки обыкновенно даютъ щебенкамъ продолговатую форму, но можно уничтожить этотъ недостатокъ, заставляя проходить матеріалъ черезъ два устья со щеками, установленными подъ прямымъ угломъ другъ къ другу.

Въ Америкѣ примѣняютъ передвижныя камне-дробилки, установленныя на желѣзнодорожныхъ вагонахъ—платформахъ. Полезно имѣть такія передвижныя машины для возможности перебивать щебень въ тѣхъ мѣстахъ на линіи, гдѣ онъ окажется исполненнымъ въ слишкомъ крупныхъ кускахъ. Чѣмъ мягче порода и чѣмъ хуже сопротивляется атмосфернымъ вліяніямъ, тѣмъ крупнѣе должны быть куски. Лучшей считается величина мѣрнаго конца 4—6 см., но часто употребляется кольцо 8 см. Всѣ розсыпи изъ достаточно твердыхъ породъ идутъ въ употребленіе прямо въ качествѣ балласта—галька, гравій, песокъ. Для примѣшанныхъ къ обыкновенному балласту камней предѣльный высшій размѣръ принимается примѣрно 10 см. въ случаѣ известковыхъ породъ и 6 см. для особенно твердыхъ. Самые крупные камни разбиваютъ, иногда такіе камни идутъ на выстилку подъ слой балласта или на дренажи верхней части полотна.

Галька или одни камешки даютъ слишкомъ подвижной балластъ. Можно улучшить качества такого матеріала разбивкой болѣе крупныхъ частей. Если имѣется смѣсь камешковъ и гравія,—нѣкоторая примѣсь песку не понижаетъ качества балласта. Если въ смѣси много камеш-

¹⁾ Наилучшимъ балластомъ, по мнѣнію Кюара, является колотый щебень съ щебеночной мелочью.

ковъ, а мало гравія, желательна большая примѣсь песку. Если подобная смѣсь извлекается изъ-подъ воды, она для балласта хуже, чѣмъ изъ сухого карьера, такъ какъ вода отмываетъ всѣ мелкія частицы и смѣсь обладаетъ слишкомъ большою подвижностью. При слишкомъ большомъ содержаніи песку полезно его отсѣять.

Глину, содержащуюся въ пескѣ, предназначенномъ для балласта, слѣдуетъ отсѣять или отмыть. Для отмывки иногда удобнѣ затопить карьеръ.

Одна и та-же машина можетъ извлекать песокъ, грохотить его, промывать и убирать остатки. Экскаваторъ съ вращающимся грохотомъ, употребившійся на линіи Парижъ-Ліонъ, описанъ въ *Revue gén. de ch. d. f* за 1886 годъ. Въ томъ же журналѣ за 1893 г. описано устройство промыванія балласта для Парижской окружной дороги.

На многихъ Австрійскихъ, Швейцарскихъ и Французскихъ желѣзныхъ дорогахъ употребляются исключительно хрящъ, гравій, галька, щебень или по крайней мѣрѣ крупнозернистый песокъ, такъ какъ богатѣйшія подпочвенныя залежи конгломератовъ даютъ тамъ почти повсемѣстно громадный запасъ превосходнаго балласта и исключительно этимъ можно объяснить замѣчательную устойчивость означенныхъ дорогъ.

Искусственные балласты бываютъ или изъ матеріаловъ специально съ этой цѣлью изготовленныхъ, или изъ остатковъ (отъ фабричныхъ производствъ). Въ Англіи и Америкѣ издавна употребляютъ обожженую глину. Обожженные куски разбиваются на части примѣрно въ 3 дюйма.

Общество желѣзныхъ дорогъ Чикаго—Бурлингтонъ и Квинси употребляетъ на одной вѣтви балластъ изъ обожженной глины въ виду того, что тамъ нельзя имѣть хорошаго песчаного или гравелистаго балласта, искусственный же даетъ на практикѣ прекрасный результатъ и обходится сравнительно недорого. Въ значительномъ количествѣ онъ уложенъ также на иныхъ дорогахъ Соединенныхъ Штатовъ.

Для приготовления этого балласта расчищается почва на протяженіи отъ 50 до 150 сж., смотря по длинѣ балластнаго поѣзда, и на этомъ пространствѣ разводится огонь. Сверху укладывается слой мелкаго угля, затѣмъ слой глины толщиной 2—3", опять слой угля, сверху опять слой глины и т. д. въ пропорціи 1 тонны угля на 6 куб. метровъ балласта. Послѣ окончанія обжига куча имѣетъ высоту до 8' и ширину 20—30', причемъ обжигъ продолжается 4—5 мѣс., въ теченіе коихъ небольшая артель рабочихъ слѣдитъ за правильностью хода обжига. Одна артель рабочихъ обжигаетъ количество балласта 18—20 тысячъ куб. метровъ, причемъ стоимость его съ нагрузкой на платформы доходитъ до 1 доллара за 1 куб. метръ. Балластъ этотъ не крошится и послѣ перваго дождя перестаетъ пылить (*Railroad Gazette*. 1886 г.).

Шлаки (доменные и паровозные) слоемъ 35 см. подъ шпалой представляютъ прекрасный балластъ; верхній слой надо часто перемѣнять. Паровозныя шлаки идутъ для запасныхъ путей, доменные или стеклянные хороши и для главныхъ.

Шубертъ изъ своихъ опытовъ вывелъ зависимость работы шпаль разныхъ типовъ отъ качества балласта (*Zeitschr. d. Bauw.* 1896 и 97 г.г. и *Organ* 1897 г.).

Онъ вывелъ, что, благодаря подбивкѣ и обращенію поѣздовъ, подъ шпалой въ балластѣ образуется сплотноная часть, высота и ширина коей зависитъ отъ разстоянія между шпалами и сорта балласта. Чѣмъ чаще шпалы, тѣмъ онѣ сидятъ прочнѣе и менѣе требуется рабочей силы и матеріала для ремонта.

Щебень твердыхъ породъ даетъ результаты въ три раза лучшіе въ смыслѣ затраты рабочей силы и въ шесть разъ, что касается матеріала для ремонта. Мелкій камень на половину плоской формы лучше, чѣмъ собраніе крупныхъ кубиковъ.

Щебень имѣетъ то преимущество, что его подбивка возможна во всякое время, независимо отъ погоды; она требуетъ болѣе усилія, но держится дольше и слой дольше сохраняетъ эластичность, при этомъ слой держится при болѣе крутыхъ откосахъ и занимаетъ при той же высотѣ меньшую ширину. Песокъ надо покрывать болѣе крупнымъ матеріаломъ, его подбивка затруднительна въ мокрое время и въ очень сухое. Подбивка ведется примѣрно на 0,25 саж. въ каждую сторону отъ рельса.

Если бы подбивали середину, то послѣ разстройства подбивки у рельсовъ шпала стала бы колебаться относительно середины и могла бы треснуть. При мелкомъ балластѣ подбивку распространяютъ и на концы шпаль, оставляя неподбитою середину. Обыкновенно стыковыя шпалы подбиваютъ сильнѣе¹⁾.

Очень большіе куски необходимо разбивать, такъ какъ свойства балласта находятся въ зависимости отъ однороднаго состава, и шпала можетъ плясать, опершись на большіе куски.

Замѣна балласта (прогрохоченіе или отмываніе землистыхъ частицъ), съ пополненіемъ слоя должна дѣлаться, какъ выяснила практика французскихъ дорогъ, — каждые 15—20 лѣтъ.

Для увеличенія тренія шпаль о балластъ и сопротивленія боковому сдвигу полезно уширеніе слоя или засыпка шпаль сверху. Чаще всего примѣняется такъ называемый англійскій профиль балласта, т. е. почти безъ покрытія шпаль, при чемъ ширина балластнаго слоя лишь не-

¹⁾ Для облегченія и удешевленія подбивки въ Америкѣ изобрѣтены разные приборы, одинъ изъ которыхъ изображенъ на черт. 17.

многимъ больше длины шпаль. При неблагоприятныхъ условіяхъ профиля усиленіе балластного слоя увеличиваетъ устойчивость пути, хотя можно этого увеличенія достигнуть искусственными приемами.

Годичный износъ балластного слоя отъ 2 до 10%.

Въ большинствѣ замѣтокъ и докладовъ по балласту встрѣчаемъ слѣдующія:

Профиль балластного слоя не долженъ быть вездѣ одинаковымъ, а зависѣть отъ качества балласта, силы и густоты движенія. На чертежѣ 18 представлены профили верхняго строенія на нѣкоторыхъ заграничныхъ дорогахъ. Обычной толщиной балластного слоя считается заграницей отъ 20 до 35 см.

Принимая максимальное давленіе одной оси въ $\frac{6}{5}$ нагрузки ея, считая давленіе на одну шпалу отъ оси вмѣстѣ съ соотвѣтственною частью верхняго строенія, въ 20 т., получимъ для незабалластированного пути давленіе отъ шпалы около $3 \frac{кл}{см^2}$, при балластѣ (уголь пространства давленія 45°)—для высшаго предѣла толщины 0,67, для низшаго $1,16 \frac{кл}{см^2}$. Если грунтъ плохо выдерживаетъ послѣднее давленіе, надо сдѣлать обходъ такого мѣста или замѣну грунта, или подстилку. Ваучалъ говоритъ, что вообще надо принимать наибольшую толщину балласта 35 см. (и даже 30 см.). Если приходится уменьшать давленіе на полотно при помощи большей высоты балластного слоя, то это выгодно дѣлать лишь до предѣла толщины балласта 45 см.; выше этого надо уменьшить давленіе на полотно инымъ способомъ. Нѣмецкіе инженеры (Блюмъ на основаніи опытовъ Шуберта) полагаютъ полезнымъ придавать балласту высоту равную разстоянію между шпалами въ свѣту + 20 см. (для глинистаго полотна).

Опыты показали, что хотя давленіе въ балластѣ нераспространяется по прямой съ уклономъ въ 45° , а по кривой съ выпуклостью внизъ, но подошва передачи давленія не отличается отъ рассчитанной по первому предположенію.

Послѣ достаточной продолжительности службы путь приходитъ къ устойчивому положенію, такъ что можетъ оставаться безъ подбивки два года при 60 поѣздахъ ежедневно, т.е. разстроиться отъ 43800 поѣздовъ, или почти 1.314.000 осей.

По опытамъ французскихъ дорогъ сопротивленіе пути безъ временной нагрузки боковому перемѣщенію на значительное разстояніе—7 тон., пути нагруженнаго—втрое. Употребленіемъ боковыхъ планокъ, соединяющихъ шпалы съ торцовъ, увеличивается боковая сопротивляемость до 10 т.

Всего больше сопротивляется сдвигенію пути треніе балласта о нижнія постели шпаль. При щебеночномъ балластѣ, который врѣзывается въ шпалы, поверхность соприкасанія значительно увеличивается. Бріеръ опредѣлилъ дѣйствительное боковое вліяніе паровоза въ 1,4 т. При умѣренныхъ холодахъ балластъ предохраняетъ полотно отъ пучинъ, причемъ на французскихъ восточныхъ дорогахъ замѣчено, что та же толщина балласта различно вліяетъ въ зависимости отъ его качества. Въ смыслѣ сохраненія шпаль—покрытіе ихъ балластомъ одни считаютъ полезнымъ, другіе нѣтъ. Здѣсь многое зависитъ отъ качества дѣла, условий климата и т. д.

Покрытіе пылящаго балласта щебнемъ практикуется особенно въ Индіи и Франціи. Въ сѣверной Испаніи и Южной Франціи позволяютъ балласту проростать въ извѣстной степени травой для того, чтобы балластъ не пылилъ, въ Америкѣ часто поливаютъ его нефтью.

По *Bauchal* ю годичный износъ балласта близокъ 5%, что составитъ для одиночнаго пути около $\frac{1}{12}$ куб. метра на пог. метръ, стоимостью 0,3 фр. т. е. почти столько же, сколько износъ рельсовъ (считая службу ихъ въ 50 лѣтъ) и стоимость шпаль на погонный метръ пути.

Въ Америкѣ иногда покрываютъ щебеночный балластъ болѣе мелкимъ матеріаломъ, что уменьшаетъ стучаніе подвижнаго состава. По ширинѣ балластъ заходитъ за концы шпаль на 10—20 см., въ крутыхъ кривыхъ эти бермы уширяютъ съ наружной стороны и иногда еще примѣняютъ особыя укрѣпленія.

Металлическія шпалы требуютъ лучшаго балласта и подбивка ихъ труднѣе; для нихъ требуется меньшій объемъ балласта, такъ какъ ихъ высота меньше.

При мелкомъ балластѣ пропускъ воды съвозъ него затрудняется, поэтому прибѣгаютъ къ улучшенію отвода воды по наружности, дѣлая наклонъ верхней поверхности балласта отъ самой середины пути, такъ что торцы шпаль являются отчасти открытыми. Въмѣсто этого Американскаго типа можно усилить отводъ воды поперечными дренажами или выстилкой всего полотна крупнымъ камнемъ.

Въ Америкѣ улучшение балласта въ смыслѣ увеличенія толщины и повышенія качества растетъ одновременно съ ростомъ нагрузки и скорости поѣздовъ. Тутъ играетъ роль также желаніе уменьшить пыль и расходъ по уходу за путемъ. Но до сихъ поръ на многихъ линіяхъ, гдѣ нѣтъ по близости хорошаго балласта, примѣняютъ вмѣсто него землю песчаную или глинистую.

Въ Америкѣ въ большемъ ходу приспособленія для быстрой загрузки платформъ съ балластомъ, состоящія изъ плуга въ видѣ треуголь-

ной рамы, движущейся послѣдовательно по всѣмъ платформамъ при помощи каната и вала, установленнаго на паровозѣ или платформѣ ближайшей къ паровозу.

Въ Америкѣ признаны недостатки землянаго балласта и главный — проникновеніе воды въ полотно и замѣненъ усиленный переходъ къ хорошему балласту. При мало водопроницаемомъ балластѣ шпалы колеблются и погружаются въ размягченное полотно, и трудно удерживать путь правильнымъ.

Думали, что подъ щебенъ всегда хорошо укладывать болѣе крупные камни, но это оказалось невѣрно, такъ какъ между крупными частями набирается земля, которая задерживаетъ влагу.

На Пенсильванской дорогѣ были сдѣланы опыты для сравненія выгоды балласта изъ щебня разныхъ размѣровъ 2, 4 и 6 см. Болѣе употребляемый размѣръ въ 6 см. представляется худшимъ и выправленіе пути при немъ затруднительнѣе. Самый лучший оказался размѣръ средній.

Остановимся еще на вопросѣ, какія качества требуются отъ балласта, если примѣнены желѣзныя шпалы.

Наблюденія надъ балластнымъ слоемъ на германскихъ желѣзныхъ дорогахъ показываютъ, что при металлическомъ верхнемъ строеніи надо обращать гораздо болѣе вниманія на качество балласта, чѣмъ при шпалахъ деревянныхъ.

Участки дороги значительнаго протяженія, уложенные на деревянныхъ шпалахъ и балластѣ среднего качества, имѣютъ верхнее строеніе на сухомъ основаніи, между тѣмъ какъ при шпалахъ металлическихъ, вслѣдствіе ихъ большей эластичности, получается при проходѣ поѣздовъ родъ накачиванія влаги изъ нижнихъ слоевъ въ высшія, отчего среднего качества балластъ превращается въ жидкую массу, не представляющую хорошаго основанія для верхняго строенія. И при деревянныхъ шпалахъ балластъ можетъ превратиться въ грязь, но это случается только тогда, когда онъ дѣлается уже совершенно непроницаемымъ для воды и по-этому долженъ быть замѣненъ другимъ. Причины вышеуказаннаго явленія заключаются въ слѣдующемъ:

- 1) Шпалы металлическія прогибаются больше, нежели деревянные.
- 2) Вслѣдствіе прочнаго соединенія рельсовъ со шпалами металлическими послѣднія слѣдуютъ за всѣми движеніями рельсовъ при прогибѣ; при шпалахъ же деревянныхъ существуетъ небольшая игра между пошвой рельса и головками костылей, да и самая шпала сжимаема.
- 3) Самая форма металлической шпалы способствуетъ образованію подъ нею пустоты, а слѣдовательно и накачиванію влаги.

4) Деревянные шпалы положены гораздо глубже въ балластѣ, нежели металлическія.

Отсюда выводъ, что при металлическомъ верхнемъ строеніи надо принимать особыя мѣры къ улучшенію балласта, который долженъ обладать слѣдующими качествами:

1) быть способнымъ при подбивкѣ уплотняться подъ шпалами въ плотную массу, представляющую надежное основаніе для шпалы и вмѣстѣ съ тѣмъ не обладающую способностью легко разсыпаться.

2) Передавать равномерное давленіе на земляное полотно, представлять наибольшее сопротивленіе скольженію по нимъ шпалъ и легко пропускать черезъ себя воду.

Наилучшимъ въ этомъ смыслѣ балластомъ является щебень, а затѣмъ уже гравій и песокъ. Въ Германіи щебеночный балластъ употребляется, вообще говоря, въ небольшомъ количествѣ вслѣдствіе его дороговизны сравнительно съ гравіемъ и пескомъ.

Въ журналѣ особаго Совѣщанія при Министерствѣ Путей Сообщенія отъ 23 іюля 1901 г. по вопросу о введеніи желѣзныхъ шпалъ на русскихъ желѣзныхъ дорогахъ приведено заключеніе инженера Ренсона, что нужно отдавать предпочтеніе деревяннымъ шпаламъ передъ металлическими въ слѣдующихъ случаяхъ:

- 1) при плохо осушенномъ полотнѣ,
- 2) на новой насыпи, еще не осѣвшей,
- 3) при болотистомъ грунтѣ полотна и
- 4) на мало водопроницаемомъ балластѣ.

Металлическая шпала своими острыми краями и жесткой поверхностью разрушаетъ и измалываетъ балластъ весьма быстро, если онъ состоитъ изъ мягкихъ породъ.

Въ зависимости отъ характера скрѣпленій рельсовъ съ желѣзными шпалами, недопускающими перемѣщенія скрѣпляемыхъ частей, путь на желѣзныхъ шпалахъ долженъ быть болѣе неизмѣняемъ, чѣмъ на деревянныхъ шпалахъ, т. е. балластъ долженъ быть безусловно хорошимъ и рельсы тяжелые.

Исходя изъ того, что въ Россіи балластъ значительно хуже, чѣмъ за границей и рельсы легче, означенное Совѣщаніе усомнилось въ цѣлесообразности перехода къ желѣзнымъ шпаламъ на русскихъ желѣзныхъ дорогахъ.

Чтобы покончить съ технической стороной вопроса о балластахъ на заграничныхъ желѣзныхъ дорогахъ, приведемъ еще справку объ одномъ довольно полномъ методѣ лабораторнаго испытанія матеріаловъ, идущихъ на балластъ.

Въ Mittheilungen d. Königl. Technischen Versuchsanstalten за 1897 годъ описанъ методъ, примѣненный въ этой лабораторіи Rudeloff'омъ для испытанія гравія и щебня, идущихъ на желѣзнодорожный балластъ. Rudeloff старался при испытаніи поставить балластъ по возможности въ тѣхъ же условіяхъ, при какихъ онъ работаетъ въ пути, и изучалъ его по отношенію: 1) ударовъ, получаемыхъ имъ при подбивкѣ, 2) износа и разрушенія, зависящаго отъ движеній шпаль при проходѣ поѣздовъ, 3) вертикальнаго давленія отъ колесъ паровоза и 4) атмосферныхъ дѣйствій.

Для испытанія разрушаемости балласта отъ подбивки опредѣленную его порцію насыпали въ ящикъ съ толстыми стѣнками и ставили подъ цементный коперъ, замѣнивъ въ немъ круглую бабу наконечникомъ, обдѣланнымъ въ формѣ подбойки (чер. 19). Двѣ стороны ящика опираются на крѣпкія пружины для того, чтобы балластъ послѣ удара сдавался и пустое мѣсто замѣщалось другой его порціей, также, какъ это происходитъ при подбивкѣ пути. Послѣ извѣстнаго числа ударовъ крупность матеріала опредѣлялась просѣиваніемъ, и измѣненіе состава служило мѣрой сопротивляемости даннаго матеріала.

Чтобы опредѣлить воздѣйствіе повторнаго приложенія давленія на балластъ отъ шпаль и тренія послѣднихъ, тотъ же ящикъ, уже безъ среднихъ стѣнокъ на пружинахъ, наполнялся испытуемымъ матеріаломъ, прикрывался толстой доской и по ней дѣлались удары тяжелой бабой.

Сверхъ того испытывался матеріалъ на сжатіе подъ высокимъ давленіемъ (до 100 тоннъ) въ трубѣ съ толстыми стѣнками при помощи допасаваемаго къ ней поршня; матеріалъ испытывался: 1) сухимъ, 2) бывшимъ не менѣе 2 часовъ подъ водой, 3) замороженнымъ и 4) влажнымъ, подвергшимся многократному замораживанію.

§ 26. Въ литературѣ безусловно преобладающимъ мнѣніемъ выступаетъ, что даже значительная разница въ стоимости приобрѣтенія хорошаго балласта сравнительно съ плохимъ не должна заставлять отступать отъ общаго правила—примѣнять балластъ самыхъ высшихъ качествъ. Но встрѣчаются указанія, что въ жизни находятъ примѣненіе иное правило—тотъ балластъ является наиболѣе цѣлесообразнымъ, который находится подъ рукой, т. е. стоитъ всегда дешевле, при условіи, конечно, выполненія главнѣйшихъ требованій отъ балласта; этого держатся нѣкоторые даже опытные инженеры. При высокихъ требованіяхъ, какія предъявляются къ пути за границей, при возможности тамъ успѣшно организовать промывку имѣющагося на мѣстѣ матеріала для балласта или подвозку послѣдняго изъ далекихъ мѣстъ, тамъ является непростительной ошибкой, построивъ линію, снабжать ее балластомъ не-

Экономиче-
скіе расче-
ты выгодно-
сти примѣ-
ненія балла-
ста высшихъ
качествъ.

высокихъ качествъ. Вообще тамъ держатся правила—уменьшить количество рабочей силы по ремонту пути примѣненіемъ балласта высшихъ качествъ. Инженеръ Герценштейнъ пишетъ (Желѣзнодорож. дѣло 1886 г.), что во Франціи и Швейцаріи на всѣхъ участкахъ, гдѣ приходилось имѣть дѣло съ балластомъ, содержащимъ земляныя примѣси, рѣшено избавиться отъ послѣднихъ помощью тщательнаго грохоченія. Стоимость балластировки, конечно, значительно повысилась, но за то достигалась совершенная осушка полотна. Для очищанія и промыванія балласта въ ходу разнаго рода вращающіеся экскаваторы съ грохотами. Въ *Revue Gén. des chem. d. f.* за 1886 г. имѣется статья *Pieron et Gasnier*, въ которой они цифрами доказываютъ, что всегда является болѣе экономнымъ примѣнять безукоризненный балластъ. Приведемъ цифры которыми пользовались упомянутые авторы, помня, что онѣ могутъ значительно отличаться отъ соотвѣтственныхъ цифръ для Россіи.

Прежде всего ими составлена таблица (приведенная ниже), содержащая свѣдѣнія о расходѣ на рабочую силу по ремонту пути на многихъ желѣзнодорожныхъ линіяхъ при балластѣ различныхъ качествъ. Изъ этой таблицы можно вывести, что при скверномъ балластѣ на ремонтъ 1 километра пути нужно въ годъ круглымъ счетомъ 200 рабочихъ дней, при среднихъ качествахъ балласта 150, а при хорошемъ естественномъ или очищенномъ отъ примѣсей балластѣ 100 дней. Слѣдовательно переходъ отъ худого балласта къ хорошему даетъ 50% экономіи, или, считая по 3,50 франка рабочій день, — экономію 350 франковъ на километръ въ годъ, что соотвѣтствуетъ капиталу 7000 франковъ.

Названіе линіи.	Длина наблюдае- маго участка клм.	Число паръ по- ѣздовъ.		Всѣхъ рельсъ кл. въ мет.	Число рабочихъ дней на годъ и килом.						Примѣчаніе.
		Постоян- ныхъ.	Случай- ныхъ.		При плохомъ балластѣ.		При бал. ср. качества.		При бал. нов. или очипц.		
					Двойн. путь.	Один. путь.	Двойн. путь.	Один. путь.	Двойн. путь.	Один. путь.	
Линіи въ два пути.	0,78	37	60	30	380	—	—	—	205	—	Работа по ремонту состояла изъ: раз- рывки пути, подѣ- емки, подбивки, ис- правлен. зарубокъ, исправлен. подук- лонки, подвинч. шу- руповъ и гаетъ, рехтовка пути, за- сыпки и заравнива- нія балласта.
	7,8	32	57	—	—	—	276	—	—	—	
	10,3	—	—	—	—	—	—	—	200	—	
	1	—	—	—	—	210	—	—	—	—	
	4,43	30	38	—	—	—	240	—	—	—	
	11,69	32	25	—	372	—	—	—	210	—	
	1,16	22	26	—	480	—	—	—	—	—	
	4,3	—	—	—	—	—	290	—	—	—	
Въ среднемъ . . .					410	—	268	—	205	—	

Названіе линіи.	Длина наблюде- маго участка к.м.	Число паръ по- ѣздовъ.		Всѣхъ рельса кил. въ мет.	Число рабочихъ дней на годъ и килом.						Примѣчаніе.
		Постоян- ныхъ.	Случай- ныхъ.		При плохомъ балластѣ.		При бал. ср. качества.		При бал. нов. или очищ.		
					Двойн. путь.	Один. путь.	Двойн. путь.	Один. путь.	Двойн. путь.	Один. путь.	
Линія въ путь.	40,09	8	11	—	—	—	—	155	—	—	
	22,81	12	16	—	—	—	—	145	—	—	
	5	10	10	—	—	—	—	150	—	88	
	Въ среднемъ . . .				—	—	—	150	—	88	
Линія въ одинъ путь.	12,10	4	2	—	—	—	—	164	—	—	
	19,39	5	12	—	—	—	—	—	—	123	Балласть шлаков.
	15,7	5	3	—	—	—	—	—	—	97	
	13,7	8	9	37	—	—	—	—	—	92	
	43,25	8	3	—	—	—	—	—	—	95	Балласть изъ ма- шин. шлаковъ.
	5,4	4	3	—	—	—	—	139	—	72	
	8,61	6	1	30	—	—	—	132	—	—	
Въ среднемъ . . .				—	—	—	145	—	96		

Принимая, что замѣна плохого балласта хорошимъ даетъ на каж-
дый километр экономіи 7000 франковъ, видимъ, что, помимо (иныхъ
преимуществъ, просто съ точки зрѣнія коммерческаго расчета слѣду-
етъ выбрать балластъ высокихъ качествъ, если цѣна кубическаго метра
такого балласта выше цѣны плохого не болѣе какъ на $7000 : 1825 = 3,85$
франковъ. Здѣсь предположено, что для балластировки километра пути
надо 1825 куб. мет. балласта. Остается выяснитъ, сколько можетъ
стоить замѣна одного балласта другимъ. Если имѣющійся подъ рукою
матеріалъ для балласта является смѣсью гальки или крупнаго гравія
съ мелкимъ пескомъ, (можно достигнуть прекраснаго результата, про-
грохотивши смѣть и отмывъ весь песокъ. Это можетъ обойтись 0,50—1
франковъ съ куб. метра. Если этотъ способъ непримѣнимъ, надо при-
везти балластъ изъ далекихъ карьеровъ. Доставку кубическаго метра
балласта на километр разстоянія авторы считаютъ 0,03 франка (рас-
ходъ провозки поѣзда въ 20 вагоновъ по 5,5 куб. метровъ каждый съ
возвратомъ назадъ пустыхъ вагоновъ на разстояніи 46 километровъ

обходился 163,40 фр., слѣдовательно расходъ на куб. метръ и километръ $163,4 : 46.110 = 0,03$ фр.). Значитъ по экономическимъ соображеніямъ выборъ можетъ пасть на карьеръ съ плохимъ балластомъ только въ случаѣ, если хорошій балластъ находится дальше на $3,85 : 0,03 = 128$ километровъ и больше.

На имѣющейся линіи съ плохимъ балластомъ остается вырѣшить, выгоднѣе ли произвести очистку балласта съ добавленіемъ соответственной части или же весь балластъ замѣнить новымъ. По наблюденіямъ сказанныхъ авторовъ первое стоитъ 6570 фр. на километръ, а второе 6940 франковъ, т. е. меньше той экономіи въ 7000 франковъ на работы по уходу за путемъ, которая получается отъ примѣненія хорошаго балласта.

VI. Характеристика балластовъ русскихъ жел. дорогъ.

Техническая
сторона
вопроса.

§ 27. Состояніе балластного слоя на русскихъ желѣзныхъ дорогахъ заставляетъ желать много лучшаго. На это есть оффиціальныя указанія. Напримѣръ, докладъ Министру Путей Сообщенія Департамента желѣзныхъ дорогъ отъ 22 Сентября 1897 года за № 1896 „Объ улучшеніи и пополненіи балластного слоя на казенныхъ и частныхъ желѣзныхъ дорогахъ“ начинается словами:

„Имѣя въ виду, что на нѣкоторыхъ линіяхъ желѣзнодорожной сѣти балластъ имѣется въ недостаточномъ количествѣ или не надлежащаго качества, по приказанію г. Министра Путей Сообщенія, предложено было Начальникамъ казенныхъ и Управляющимъ частныхъ желѣзныхъ дорогъ представить въ Департаментъ слѣдующія свѣдѣнія:

- 1) на какихъ верстахъ балластный слой долженъ быть пополненъ за его недостаточностью;
- 2) на какихъ верстахъ имѣется недоброкачественный балластъ, требующій замѣны, и
- 3) на какихъ верстахъ требуется покрытіе балластного слоя щебнемъ“.

Изъ доставленныхъ на этотъ запросъ свѣдѣній по нѣкоторымъ дорогамъ видно, что на многихъ линіяхъ балластъ мелкій, песчаный, мѣстами глинистый (напр. Полѣвскія жел. дор.), на иныхъ дорогахъ мелкій, иловатый, глинистый песокъ (Балтійская).

Есть дороги, на которыхъ, мѣстами высота слоя балласта меньше 0,15 саж.

На нѣкоторыхъ дорогахъ балластъ вообще хорошъ (на Владикавказской грохоченный гравій средней крупности или смѣсь гравія съ пескомъ).

Преобладающимъ въ Россіи сортомъ балласта является мелкій песокъ. Тамъ, гдѣ этотъ песокъ не слишкомъ мелкій, примѣсь глины въ немъ весьма мала (Иваногородо-Домбровская линія), результаты получаются удовлетворительные. На многихъ линіяхъ песокъ слишкомъ мелкій (Московско-Кіево-Воронежская, нѣкоторыя линіи Рязано-Уральской ж. д. и проч.). При большемъ движеніи по такимъ линіямъ является необходимымъ покрывать балластъ слоемъ щебня. На Рыбинской желѣзной дорогѣ часть протяженія покрыта мелкимъ камнемъ, получаемымъ при добываніи балласта изъ карьеровъ. Линіи съ усиленнымъ движеніемъ покрываются щебеночнымъ верхнимъ балластомъ даже въ случаѣ, если нижній балластъ состоитъ изъ крупнаго песка (напр. Николаевская ж. д., Московско-Курская).

На весьма большомъ числѣ линій ощущается недостатокъ высоты балластнаго слоя, опредѣляемый въ 10—20%.

Стоимость балласта колеблется въ небольшихъ предѣлахъ, отъ 2 до 5 руб. При замѣнѣ недоброкачественнаго балласта новымъ, въ виду трудности этой работы безъ перерыва движенія, стоимость куба достигаетъ 10 руб.

Для верхняго щебеночнаго балласта на версту пути требуется щебня 30—50 куб. саж., что, при цѣнѣ его 25—30 руб., составитъ расходъ кругло 1000 руб. на версту одиночнаго пути.

На русскихъ желѣзныхъ дорогахъ въ большинствѣ случаевъ употребляются для балласта песчаные матеріалы, какіе имѣются подъ рукою, а Россія, какъ извѣстно, богата частью рѣчнымъ, а главнымъ образомъ мелкозернистымъ овражнымъ сыпучимъ пескомъ, легко расползающимся, выдуваемымъ вѣтрами и еще легче вымываемымъ дождями и нерѣдкими ливнями. При частой осадкѣ балластнаго слоя и несвоевременной досыпкѣ путь обыкновенно держится въ проектномъ уровнѣ на ежегодно досыпаемомъ слоѣ балласта.

Профиль нормальнаго балластнаго слоя для русскихъ желѣзныхъ дорогъ установленъ въ техническихъ условіяхъ проектированія магистралей. Толщина балластнаго слоя опредѣлена на перегонахъ, считая толщину отъ подошвы рельсовъ по линіямъ рельсовъ: не менѣе 0.25 саж. въ сухихъ выемкахъ или на насыпяхъ изъ песчанаго грунта, при высотѣ таковыхъ не выше 1 с. На станціонныхъ и разъѣздныхъ путяхъ, а равно и въ междупутіи толщина балластнаго слоя можетъ быть уменьшена до 0,23 с.

При балластѣ изъ гальки или мелкаго щебня указанная толщина балластнаго слоя какъ на перегонахъ, такъ и на станціяхъ можетъ быть уменьшена на 0,05 сж. При грунтахъ глинистыхъ и вообще вязкихъ

толщина балластного слоя подъ рельсовыми путями должна быть соответственно увеличена. Ширина балластного слоя на уровнѣ подошвы рельсовъ должна быть не менѣе 1,45 саж., а пологость откосовъ не менѣе полуторной.

Къ такому профилю со временемъ должны перейти всѣ дороги, но въ настоящее время имѣется многообразіе профилей въ зависимости отъ условій постройки данной линіи и отчасти отъ условій эксплуатаціи, подъ влияніемъ которыхъ могли измѣниться первоначальные профили балластного слоя. Увеличеніе профиля балласта на старыхъ насыпяхъ вообще весьма затруднительно, такъ какъ уширеніе, а также возвышеніе слоя балласта сопряжено съ уменьшеніемъ или полнымъ исчезновеніемъ бермъ на верхней грани земляного полотна. Последнее представляетъ серьезныя неудобства, такъ какъ балластный профиль тогда плохо держится въ правильномъ видѣ и много матеріала осыпается подъ откосы, иногда засыпая кюветы и канавы.

Въ послѣднее время толщина балласта русскихъ дорогъ задается чаще всего 0,22 саж. подъ рельсомъ, при объемѣ слоя на версту 160 куб. саж. Изъ многихъ чертежей видно, что ширина слоя поверху на главныхъ линіяхъ Россіи вообще достаточна, — она для одиночныхъ путей около 3,1—3,4 м.; есть нѣкоторыя линіи (напр. Екатеринбург—Челябинскъ) съ шириной балласта по верху 2,76 м. (1,29 с.). Высота слоя по большей части 0,40—0,47 м.¹⁾ и даже (Николаевская ж. д.) 0,75 м. На нѣкоторыхъ линіяхъ толщина подъ рельсами всего 0,25 м. (Екатеринбург—Челябинскъ), 0,37 (Владикавказ. ж. д.) и т. д. Покрытіе щебнемъ практикуется только исключительно на линіяхъ съ сильнымъ движеніемъ; толщина щебеночного слоя около 0,1—0,12 м., крупность щебенки 0,04—0,06 м.

Въ 1897 году Совѣщательнымъ Сѣздомъ Инженеровъ Службы Пути было постановлено считать нужнымъ доводить толщину балласта подъ подошвой шпалы до 0,20 саж. Въ 1898 г. Общество Московско-Виндаво-Рыбинской ж. д. въ проектѣ Техническихъ Условій постройки линіи Москва—Виндава предполагало толщину балласта въ 0,16 саж. подъ подошвой рельса. Вопросъ объ этомъ разбирался тогда въ Инженерномъ Совѣтѣ Манистерства Путей Сообщенія (докладчикомъ былъ Л. Ф. Николаи). Сѣздъ, придя къ упомянутому выше заключенію о толщинѣ балласта въ 0,20 саж., имѣлъ въ виду главнымъ образомъ обезпеченіе полотна и особенно насыпей отъ балластныхъ корытъ, при чемъ призналъ, что для обезпеченія равномерной передачи давленія на полотно и слѣдовательно предохраненія его отъ балластныхъ корытъ

¹⁾ По Аничкову (Устойчивость желѣзнодорожн. пути. Инженеръ 1890 г.) въ среднемъ толщина балластн. слоя въ Россіи 0,20—0,30 саж.).

—толщина балласта должна быть не менѣе 0,20 саж. при наилучшихъ условіяхъ грунта.

При этомъ Сѣздъ постановилъ: для обезпеченія, по возможности, хорошаго отвода отъ полотна воды, просачивающейся съвозъ балластъ, въ виду почти повсемѣстно примѣняемаго способа балластировки пути послѣ предварительнаго открытія рабочаго или временнаго движенія по небалластированному пути, слѣдуетъ отъ линіи подошвы внѣшнихъ концовъ шпаль дѣлать скосы въ поперечномъ профилѣ полотна, придавая имъ уклоны: при сухихъ и песчаныхъ грунтахъ въ 0,10, а при глинистыхъ жирныхъ—до 0,20.

Такимъ образомъ Сѣздъ устанавливалъ толщину балластнаго слоя только съ точки зрѣнія обезпеченія полотна отъ образованія балластныхъ корытъ.

Есть и другіе факторы, отъ которыхъ должна зависѣть толщина балластнаго слоя, а именно: скорость и нагрузка на ось, въ связи съ типомъ рельса и разстояніемъ между шпалами.

Астѣ въ своемъ докладѣ Лондонскому Конгрессу заключаетъ, что: для того чтобы путь достигъ предѣльнаго значенія сопротивленія (*limite superieure de la capacité de service*), толщина балластнаго слоя должна быть не менѣе 0,4 метра, а подъ подошвой шпаль не менѣе 0,3 м. Вообще онъ считаетъ, что толщина балластнаго слоя должна зависѣть отъ свойствъ грунта подъ балластомъ.

Л. Ф. Николаи въ докладѣ своемъ Инженерному Совѣту по вопросу о нормальной толщинѣ балласта указываетъ, что, чѣмъ выше качество балласта (коэффициентъ C самъ зависитъ отъ достаточной твердости грунта полотна, качества балласта и достаточной ширины его) и благопріятнѣе условія грунта, тѣмъ меньше можетъ быть толщина балласта. Достаточная высота балласта имѣетъ еще другое важное значеніе, на что указано въ постановленіи XIV Сѣзда,—предупредить образование пучинъ.

Стецевичъ полагаетъ, что, наименьшая толщина балластнаго слоя подъ подошвой шпаль должна быть 0,15 саж. въ выемкахъ, а въ насыпяхъ до 0,17 с.

Условія для опредѣленія минимальной толщины балласта Л. Ф. Николаи беретъ слѣдующія: надо, чтобы давленіе, переданное отъ подошвы шпалы на полотно, не превосходило $1,5 \frac{\text{кп}}{\text{см}^2}$ (0,6 п. на кв. дм.); при этомъ онъ беретъ въ песчаномъ балластѣ половинный уклонъ распределенія давленія, а въ балластѣ изъ мелкаго щебня или крупнаго гравія—одиночный. Для расчета принимается, что давленіе оси цѣликомъ воспринимается одной шпалой нормальныхъ размѣровъ. Такой способъ расчета, независимо отъ типа рельса, оправдывается тѣмъ, что, судя

по теоретическимъ изслѣдованіямъ, давленіе на стыковыхъ шпалахъ доходитъ до $1,09 P$ и кромѣ того должна быть принята въ расчетъ перегрузка на ходу, каковая перегрузка опредѣляется коэффициентомъ 1,7.

Сбѣненіе рельса и разстояніе между шпалами Николаи не совѣтуетъ брать въ расчетъ при опредѣленіи необходимой толщины балластного слоя, пользуясь этими элементами лишь для уменьшенія напряженія въ рельсѣ и для приданія пути болѣе жесткости какъ въ вертикальномъ, такъ и въ горизонтальномъ направленіяхъ.

По этимъ даннымъ Николаи опредѣлилъ наименьшую толщину при давленіи оси до 12 т. при крѣпкомъ грунтѣ—для балласта песчаного въ 0,15 саж. и для щебеночного 0,10 саж.

Эти нормы имъ принимаются лишь для полотна въ сухихъ выемкахъ и насыпяхъ не выше 0,5 саж. Для сырыхъ же выемокъ, а также для насыпей выше 0,5 саж., за исключеніемъ насыпей изъ песчаного грунта, наименьшую высоту балласта опредѣляетъ въ 0,17 и соотвѣтственно 0,12 саж.

При этомъ докладчикъ оговаривается, что скорость движенія предполагается до 50 вер. въ часъ, ширина балластного слоя поверху 1,45 саж. и при увеличеніи нагрузки осей толщина балластного слоя должна быть соотвѣтственно увеличена.

Что касается вопроса о томъ, должна ли при сооруженіи линіи норма высоты балластного слоя быть достигаема сразу, инженеръ Стецевичъ думаетъ, что положеніе балластного слоя надлежащихъ размѣровъ при самомъ началѣ постройки линіи имѣетъ весьма существенное значеніе, какъ въ отношеніи прочности пути и постепеннаго его укрѣпленія, такъ, главнымъ образомъ, и въ виду затруднительности впоследствии при эксплуатаціи линіи дѣлать подсыпку балластного слоя¹⁾. Въ виду сего лучше было бы при открытіи временнаго движенія оставлять полотно вовсе безъ балластного слоя, чѣмъ дѣлать таковой недостаточныхъ размѣровъ. Съ другой стороны, по его мнѣнію, излишняя толщина балластного слоя не приноситъ никакой существенной пользы, какъ это показали опыты б. Риго-Орловской и Риго-Динабургской жел. дорогъ.

Приведемъ еще нѣкоторые свѣдѣнія объ употребленіи въ Россіи шлаковъ вмѣсто песка.

Шлаки доменныхъ печей кое гдѣ были употреблены въ качествѣ балласта, но главнымъ образомъ на подъѣздныхъ путяхъ, поэтому опыта въ этомъ отношеніи мало. Вообще выяснилось, что:

1) водонепроницаемость шлака вполне удовлетворительна, путь уложенный на шлакъ размывается труднѣе уложеннаго на мелкомъ пескѣ;

¹⁾ Инж. Штольцманъ другого мнѣнія. Въ докладѣ Собранію И. П. С. (Извѣстія за 1906 и 1907 г.) онъ рекомендуетъ при постройкѣ доводить толщину балласта до 0,16 сж. и при глини до 0,20 сж.

2) По устойчивости путь, уложенный на шлакъ, не уступаетъ пути на мелкомъ балластѣ.

3) Хотя по удѣльному вѣсу угольный шлакъ легче балласта, но вслѣдствіе большой крупности частицъ, изъ которыхъ состоитъ шлакъ, и свойства его слеживаться лучше—онъ выдувается вѣтромъ въ меньшей степени сравнительно съ мелкимъ балластомъ.

Что касается примѣненія каменноугольного шлака, то выходитъ, что для главныхъ путей онъ оказывается слабымъ матеріаломъ. 7-й Совѣщательный Сѣздъ Инженеровъ Службы Пути 1889 года на вопросъ Департамента желѣзныхъ дорогъ о возможности и цѣлесообразности употребленія угольного шлака для балластировки пути—постановилъ: а) въ виду присутствія сѣрнистыхъ соединений въ угольномъ шлакѣ, послѣдній можетъ оказать вредное вліяніе на желѣзныя части верхняго строенія, б) шлаки, пролежавшія на угольномъ шлакѣ, сравнительно скоро дѣлаются дряблыми, древесина принимаетъ синеватый цвѣтъ, в) вслѣдствіе плохой теплопроводности шлака пучины при употребленіи его вмѣсто балласта уменьшаются (Рязанско-Вяземская и Балтійская ж. д.).

§ 28. Приводимъ нѣкоторые данныя о стоимости балластировки на русск. желѣзныхъ дорогахъ. Построечные смѣты и отчеты даютъ среднюю стоимость 1 куб. саж. балласта 7—10 руб. Средняя цѣна кубической саж. балласта Сибирской желѣзной дороги по отчету Комиссіи Михайловскаго опредѣлена въ 7 р. 53 к. Полная стоимость кубической сажени балласта на Сибирской желѣзной дорогѣ при эксплуатаціи складывается изъ слѣдующихъ составныхъ частей: 1) оборудованіе подвижного состава для перевозки балласта, аренда карьеровъ, администрація (десятники, начальники карьеровъ и т. д.), премія агентамъ Службы Движенія и Тяги, съемъ турфовъ, т. е. верхнихъ слоевъ земли, покрывающихъ на мѣстѣ балласта, устройство траншей и другія вспомогательныя работы—все вмѣстѣ стоитъ отъ 1 р. 20 к. на западныхъ участкахъ, до 1 р. 60 к. на восточныхъ участкахъ; 2) рабочая сила по нагрузкѣ балласта и выгрузкѣ его на мѣстѣ стоитъ отъ 2 р. (на Западѣ) до 3 р. 15 к. (на восточныхъ участк.); 3) перевозка, при среднемъ разстояніи отъ карьера до мѣста выгрузки въ 50—70 вер., стоитъ на Западныхъ участк. около 3 руб., на Восточныхъ 4 р. (примѣняется льготный тарифъ 1/200 коп. съ пуда—версты; при нормальномъ тарифѣ расходъ будетъ вдвое большій); при этомъ не учтены нѣкоторые расходы по ремонту и амортизаціи подвижного состава.

На черт. 22 представлено расположеніе карьеровъ на линіи Сибирской жел. дороги. Самое большое разстояніе имѣется между карье-

Экономическая сторона вопроса.

рами: Омскимъ и Кривошековскимъ, именно 1324—746 вер. = 578 вер., при чемъ послѣдній карьеръ обслуживаетъ 500 верстъ пути, что является прямо колоссальной цифрой. На всемъ указанномъ протяженіи нѣтъ карьеровъ вблизи дороги; есть одинъ у середины означеннаго перегона, но онъ отстоитъ отъ дороги на 40 вер. Имъ пользовалась постройка линіи, но при эксплуатаціи оказалось выгоднѣе его закрыть, потому, что, за его бѣдностью, нельзя было организовать вывозку на далекое разстояніе и тѣмъ значительно сократить разстояніе возки изъ основныхъ карьеровъ, а между тѣмъ потребовалось бы специальное оборудование.

На Сибирской желѣзной дорогѣ по ежегоднымъ смѣтамъ имѣется на пополненіе балластнаго слоя, уменьшающагося отъ износа, выдуванія и вымыванія по 5—6 куб. саж. на версту, между тѣмъ какъ фактически приходится вывозить изъ карьеровъ на пополненіе по 14—20 куб. саж., т. е. вмѣсто $4\frac{1}{6}$ — $11\frac{1}{6}$ имѣющагося въ пути балласта. Сверхъ того имѣется ежегодно кредитъ на пополненіе балласта послѣ поврежденій его отъ ливней; на это полагается для всей дороги 2000 куб. саж., т. е. нѣсколько менѣе куба на версту пути; между тѣмъ ливни вымываютъ ежегодно на дорогѣ 4000—5000 кубовъ. Почти весь этотъ расходъ на исправленіе поврежденій балласта отъ ливней приходится дѣлать на западныхъ участкахъ дороги, гдѣ значительно хуже балластъ. Это обстоятельство наглядно указываетъ на выгоду получать лучшій балластъ даже при сравнительно большемъ разстояніи возки.

Въ весьма многихъ карьерахъ имѣется въ пескѣ обильная примѣсь гальки разной крупности. Часто высыпаютъ ее въ путь вмѣстѣ съ пескомъ, но этого не слѣдуетъ дѣлать, а отсѣивать или отбирать всѣ крупныя части и употреблять затѣмъ на верхній балластъ или на подбивку стыковыхъ шпаль. Въ договорахъ на балластировку на Сибирской желѣзной дорогѣ находимъ цѣны за выставку въ призмы 1 куб. саж. гальки (съ отсѣвкой отъ песку, безъ расколки) отъ 9 до 14 руб. въ зависимости отъ діаметра камней; почти таже цѣна назначена за расколку и заготовку этихъ камней въ щебень. Нагрузка въ вагоны и выгрузка гальки или щебня стоитъ 6 рублей, тогда какъ таже работа для песку 2 рубля.

Учесть по договорамъ и отчетамъ дѣйствительную стоимость балластировки съ 1 куб. саж. балласта весьма трудно, такъ какъ развозка производится дорогою своими средствами, съ отнесеніемъ расходовъ за провозъ на самые различные источники кредита, причемъ нѣкоторые расходы, напримѣръ износъ подвижнаго состава и пр., иногда совсѣмъ не учитываются. Поэтому составить себѣ вполне ясное представленіе о томъ, какое разстояніе развозки является самымъ выгоднымъ, по боль-

шей части нельзя, приходится рѣшать подобные вопросы чаще всего на глазъ и на основаніи общихъ соображеній, а также считаясь съ удобствами движенія рабочихъ поѣздовъ и обмѣна паровозовъ.

Обмѣръ балласта для оплаты подрядчику производится обыкновенно по количеству вагоновъ, при чемъ каждому типу вагоновъ соответствуетъ опредѣленное наполненіе, которое опредѣляется на основаніи пробнаго взвѣшиванія нагруженного балластомъ вагона на вагонныхъ вѣсахъ. 3% отъ объема оплатѣ не подлежитъ, какъ назначенные на раструску. Такъ какъ степень разрыхленія балласта при переходѣ отъ слежавшагося состоянія неодинакова въ зависимости отъ условій залеганія пластовъ, количества примѣсей и даже степени влажности (колеблется отъ 10 до 15 %), притомъ слѣдить за правильной нагрузкой всѣхъ вагоновъ весьма трудно, а рабочимъ и подрядчику всегда выгоднѣе не насыпать вагоны до полной мѣры, то этотъ способъ обмѣра является приводящимъ къ недоразумѣніямъ и всегда невыгоднымъ для дороги, и его надо было бы оставить, а дѣлать пріемку по обмѣру выбраннаго изъ балластѣра объема въ плотномъ тѣлѣ. Пришлось бы производить каждый разъ довольно подробную съемку карьера поперечными профилями, но за то была бы достигнута точность учета. При практикуемомъ способѣ пріемки балласта не надо опредѣлять, какое разрыхленіе будетъ имѣть тотъ или иной балластъ, а рассыпаютъ на указанномъ мѣстѣ теоретическій объемъ балласта, прибавляя только 5—8 % на уплотненіе слоя въ насыпи.

При употребленіи въ Россіи на балластъ рѣчного, а главнымъ образомъ мелкозернистаго овражнаго песка, имѣетъ мѣсто постоянная осадка пути, при чемъ, такъ какъ балластный слой обыкновенно не пополняется своевременно, то на непрерывныя исправленія поврежденій пути, т. е. общій ремонтъ его, расходуется въ среднемъ на русскихъ желѣзныхъ дорогахъ 70—100 руб. въ годъ на каждую версту пути.

На хорошемъ жертвянномъ, слегка глинистомъ балластѣ путь разъ хорошо подбитый и исправленный въ началѣ лѣта не требуетъ никакихъ работъ до поздней осени, хотя впрочемъ дорогія для устойчивости пути качества балласта: крупнозернистость и одновременно большая степень сцѣпленія—сильно затрудняютъ смѣну шпалъ, такъ какъ спекшійся въ плотную массу балластъ не поддается лопатѣ и заступу и для вынута изъ него шпалы приходится взламывать его кирками или ломками.

Полагая, что при лучшемъ качествѣ балласта удалось бы сохранить на ремонтъ пути и пополненіе балластнаго слоя половину указанныхъ выше 100 руб. съ версты, требующихся нынѣ на ремонтъ одного балластнаго слоя, т. е. 50 руб. ежегодно, можно бы капиталъ,

съ котораго 50 руб. составляютъ годовые проценты, т. е. примѣрно 1000 руб., обратить на улучшение качества балласта; это значитъ, что можно итти на увеличеніе почти вдвое нынѣшней средней стоимости балласта, лишь бы имѣть его качества лучше. Съ другой стороны видно, что если бы мы захотѣли привозить лучшій матеріалъ для балласта изъ болѣе далекихъ мѣстностей, пришлось бы ограничиться въ силу экономическихъ соображеній двойнымъ, самое большее тройнымъ разстояніемъ, чѣмъ предѣльное нынѣ употребляемое. Назначивъ подобное разстояніе около 1000 верстъ, видимъ, что во многихъ случаяхъ надлежало бы организовать въ извѣстныхъ округахъ Россіи заготовку хорошаго балласта въ центральныхъ пунктахъ, но вездѣ этого сдѣлать нельзя. Напримѣръ въ Сибири хорошій балластъ во многія части линіи пришлось бы подвозить съ разстояній болѣе значительныхъ, чѣмъ 1000 вер., поэтому здѣсь надо бы разработать методъ очистки балласта и пробовать примѣнять болѣе соответствующій профиль какъ полотна, такъ и балластного слоя. Всѣ эти вопросы слѣдовало бы разрѣшить возможно тщательно, а для этого необходимо всестороннее изслѣдованіе экономической стороны вопроса о заготовкѣ и развозкѣ балласта на всѣхъ русскихъ желѣзныхъ дорогахъ.

ЗАКЛЮЧЕНІЕ.

§ 29. Самой трудной задачей въ вопросѣ о верхнемъ строеніи пути является выясненіе вертикальныхъ и горизонтальныхъ колебаній при движеніи по пути грузовъ и увеличенія напряженій отъ динамическаго дѣйствія.

Вліяніе скорости передвиженія по желѣзнымъ дорогамъ должно быть, по существу, такимъ же, какъ и по обыкновеннымъ. Благодаря рессорамъ экипажей, вмѣсто ударовъ отъ паденія колесъ въ углубленія колесной дороги получаютъ періодическія увеличенія давленія на нее. При плохой дорогѣ, какъ показываютъ измѣренія на шоссеиныхъ дорогахъ, рессоры даютъ около 33% экономіи въ силѣ тяги. Скорость движенія ни въ смыслѣ сопротивленія, ни въ смыслѣ прочности пути не играетъ роли при хорошемъ состояніи шоссе, и даже ѣзда шагомъ болѣе разстраиваетъ такое шоссе, нежели ѣзда рысью; если же состояніе шоссе дурное, то наоборотъ.

Dupuit изъ своихъ опытовъ вывелъ, между прочимъ, что сила тяги повозокъ не зависитъ отъ скорости.

Можно предположить, что съ возрастаніемъ напряженія въ проѣзжей части, появляющагося при движеніи по ней колесъ, растеть сопро-

тивленіе силъ тяги. Если бы малыя неправильности въ формѣ колесъ оказывали существенное вліяніе на напряженія въ проѣзжей части, то это вліяніе при большихъ скоростяхъ сказывалось бы значительнымъ увеличеніемъ этихъ напряженій и слѣдовательно сила тяги повозокъ не могла бы не зависѣть отъ ихъ скорости. Рельсовый путь, во всякомъ случаѣ, можетъ быть сравниваемъ только съ хорошо содержащимся шоссе, поэтому можно предполагать, что увеличеніе скорости движенія, само по себѣ, почти не увеличиваетъ вертикальных давленій на рельсы. Увеличеніе напряженія въ матеріалѣ рельсовъ отъ дѣйствія скорости, появляющіяся при значительныхъ скоростяхъ выгибы рельсовъ и разстройство пути слѣдуетъ приписать главнымъ образомъ горизонтальнымъ и скручивающимъ усиліямъ, появляющимся въ рельсахъ при движеніи паровозовъ и вагоновъ, а также перегрузу отдѣльных колесъ, проявляющемуся особенно рѣзко при торможеніи и при измѣненіи скорости движенія. Увеличеніе же напряженія отъ неправильнаго вида шинъ, если судить по аналогіи съ обыкновенными дорогами, должно быть значительно меньше, чѣмъ увеличеніе его отъ указанныхъ выше причинъ.

То обстоятельство, что въ работѣ верхняго строенія пути принимаетъ участіе весьма много частей и обстоятельствъ (рельсы, скрѣпленія, шпалы, балластъ, грунтъ полотна, болѣе или менѣе плотное соприкосновеніе этихъ частей, неоднородность подбивки балласта, мѣстные выгибы и неровности, распредѣленіе нагрузки на отдѣльные колеса, упругость рессоръ и вообще конструкція подвижнаго состава и т. д.), указываетъ, что какой нибудь одной формулой обнять всѣ явленія, происходящія въ матеріалѣ пути, въ особенности при движеніи по немъ поѣзда, и опредѣлить точно напряженія въ отдѣльных частяхъ является немислимымъ, но это не исключаетъ возможности найти такія формулы, которыя охватывали бы возможно много сторонъ явленія и давали основанія для сужденія о вліяніи свойствъ и размѣровъ разныхъ частей конструкціи, а также, при помощи введенія въ эти формулы поправочныхъ коэффициентовъ, установленныхъ на основаніи произведенныхъ многочисленныхъ опытовъ, представляли бы возможность опредѣлять болѣе или менѣе точно дѣйствительныя напряженія въ частяхъ пути и отношенія ихъ къ допускаемымъ напряженіямъ. Изгибы разныхъ балокъ, особенно принимая во вниманіе всевозможныя особыя условія, при которыхъ работаютъ разныя части сооруженій и машинъ, представляетъ явленія весьма сложныя, тѣмъ не менѣе теорія упругости развила въ стройное знаніе и примѣненіе ея формулъ къ подсчету сооруженій отдаетъ неоцѣнимыя услуги технику. Явленія, происходящія въ частяхъ желѣзныхъ мостовъ, гораздо сложнѣе тѣхъ, которыя предполагаются при расчетѣ мостовъ на статическую нагрузку, и, какъ показали опредѣле-

нія при помощи измѣрительныхъ приборовъ деформаций въ частяхъ фермъ, формулы далеко не обнимаютъ всего комплекса явленій, однако изъ всего этого отнюдь не слѣдуетъ, что нынѣшняя теорія мостовъ есть лишь самообманъ и что, совершенствуясь, теорія не освѣтитъ въ достаточной мѣрѣ главныхъ сторонъ этихъ сложныхъ явленій.

Всего больше изучались до сихъ поръ напряженія въ рельсѣ, такъ какъ эта часть пути представляется на первый взглядъ наиболѣе серьезной, неся на себѣ непосредственно движущійся подвижной составъ и такъ какъ, вслѣдствіе близко изученной упругости стали, извѣстно съ весьма большою точностью, какія усилія и деформация возможно допустить въ рельсахъ того или другого типа. Разсужденія о деформацияхъ остальныхъ элементовъ верхняго строенія по большей части не выходятъ изъ области искусства, такъ какъ не имѣется достаточнаго числа точныхъ наблюденій этихъ деформаций и ихъ весьма трудно обнять стройной теоріей. Правильнѣе всего, кажется, опредѣлять напряженія въ отдѣльныхъ частяхъ пути, исходя изъ величинъ формоизмѣненій ихъ при данныхъ условіяхъ.

Нельзя не обратить вниманіе на значеніе, какое имѣетъ для рельсоваго пути то или иное устройство паровозныхъ рессоръ и вообще всей конструкціи подвижного состава. Если примѣненіемъ рессоръ на обыкновенной дорогѣ уменьшается въ значительной степени необходимая сила тяги и износъ пути идетъ гораздо медленнѣе, то съ увѣренностью можно сказать, что прочность желѣзнодорожнаго пути и сопротивленіе его динамическому дѣйствію нагрузки въ высокой степени зависятъ отъ соотвѣтствія рессоръ паровоза съ вѣсомъ, расположеніемъ отдѣльныхъ частей и скоростью движенія паровоза. Такъ что разрѣшеніе вопроса о прочности путей зависитъ въ большой степени отъ прогресса въ конструкціи паровозовъ. Серьезное значеніе при этомъ имѣетъ расположеніе центра тяжести паровоза.

Повышеніе центра тяжести влечетъ за собой уменьшеніе порчи пути и износа колесъ, осей, буксъ и рамъ. Оно дѣлаетъ ходъ паровоза болѣе мягкимъ, благодаря лучшей игрѣ рессоръ при боковыхъ качаніяхъ и на кривыхъ.

При ударѣ объ рельсы колесъ паровоза ребордами бандажей, — будь это подъ дѣйствіемъ центробѣжной силы при проходѣ по кривой, или же вслѣдствіе извилистости движенія паровоза, — сила удара, при одинаковыхъ прочихъ обстоятельствахъ, тѣмъ больше, чѣмъ ниже центр тяжести. Давленіе паровоза на наружный рельсъ подъ дѣйствіемъ центробѣжной силы или извилистости движенія тѣмъ сильнѣе наклонено къ горизонтالي, чѣмъ выше центр тяжести и тѣмъ большая часть давленій на наружный рельсъ будетъ направлена вертикально. Этимъ умень-

шается опасность схода, благодаря увеличенію нагрузки наружныхъ колесъ, а съ другой стороны уменьшается распирающее дѣйствіе паровоза.

Вліяніе на устойчивость всѣхъ частей пути неровностей на окружности колесъ паровоза и неправильнаго ихъ центрированія быть можетъ не является весьма большимъ, но вліяніе этихъ неровностей на напряженіе въ рельсѣ велико. Н. Петровъ (Записки И. Р. Т. О. № 7—8 за 1906 г.) выводитъ, что пренебреженіе вертикальной скоростью, приобретаемой подъ вліяніемъ неправильной формы колесъ, можетъ приводить къ невѣрному опредѣленію величины отношенія динамическаго давленія къ статическому до 2,67 разъ. Безспорнымъ является, что до полного изученія формы дѣйствительной траекторіи каченія груза по рельсамъ вопросъ о напряженіи въ рельсахъ и объ устойчивости пути серьезно не подвинется.

Въ статьѣ Н. Петрова „Состояніе вопроса объ изгибѣ рельсовъ“ (Желѣзнодорожн. дѣло 1904 г. № 5) приведены результаты несогласныхъ между собою наблюденій, сдѣланныхъ инженерами, заслуживающими одинаковаго довѣрія. Коюаръ и Фламанъ указываютъ, что наибольшіе прогибы получаются при проходѣ не наиболѣе нагруженныхъ осей паровозовъ, а при проходѣ тендеровъ и вагоновъ съ тормозами, когда отъ ударовъ, производимыхъ этими колесами, получаютъ прогибы въ два и три раза больше, чѣмъ при проходѣ паровозныхъ осей. Васютинскій тоже говоритъ, что увеличеніе осѣданія шпалъ на тонну статической нагрузки, вызванное большимъ динамическимъ дѣйствіемъ тендерныхъ колесъ въ сравненіи съ паровозными, колеблется въ предѣлахъ отъ 26 до 51%. По наблюденіямъ Стецевича получались максимальные прогибы подъ осями паровоза и ни одного случая не было большаго прогиба подъ колесами тормозныхъ осей тендера или вагоновъ. Опыты Дудлея подтверждаютъ возможность значительной разницы для тормозныхъ колесъ между динамическимъ и статическимъ давленіемъ (до 3,6 разъ).

Наблюдая прогибы рельса, мы имѣемъ дѣло съ весьма сложнымъ явленіемъ; часто, если не принять во вниманіе разницы въ качествахъ балласта, результаты наблюденій кажутся необъяснимыми. Стецевичъ, останавливаясь на одной изъ своихъ таблицъ, говоритъ, что путь Балтійской дороги при 18-ти фунтовыхъ рельсахъ не только значительно устойчивѣе въ вертикальномъ отношеніи, чѣмъ на Саратовской дорогѣ при 24 фунтовыхъ рельсахъ, но что и напряженіе въ рельсахъ этого пути (типа 18 фун. въ п. ф.) меньше, чѣмъ въ рельсахъ 24 фун., уложенныхъ на Саратовской дорогѣ при одинаковыхъ пролетахъ между шпалами (коэф. балласта на первой дорогѣ приведенъ 9, на второй—3,5).

Динамическое дѣйствіе колесъ вообще, зависящее отъ движенія ихъ по изгибающемуся рельсу и отъ неправильностей вида рельсовъ и колесъ, по наблюденіямъ Фламаша, при скоростяхъ отъ 70 до 100 километровъ въ часъ можетъ превышать статическое на 100% этого послѣдняго (Астѣ. Докладъ 4-му Конгр.).

Н. Петровъ выводитъ, что вліяніе скорости само по себѣ сказывается увеличеніемъ давленія на незначительную величину, а вліяніе неровностей на рельсѣ и бандажѣ отзывается увеличеніемъ давленія въ $2\frac{1}{2}$ раза.

По наблюденіямъ Васютинскаго надъ рельсомъ типа IV (23,4 ф. въ п. ф.) съ характеристикой $A\infty^{1/4}$ середина пролета между шпалами придавливается больше опоръ на 0,005; 0,010; 0,025; 0,037; 0,058; 0,070 и 0,1 мм.,—въ среднемъ 0,044, тогда какъ по вычисленіямъ Петрова разница должна быть 0,024 мм. При типѣ V съ $A\infty^{1/3}$ (28,3 фун. въ пот. ф.) пониженіе середины рельса, когда колесо стоитъ надъ этой серединою, больше пониженія рельса надъ шпалою, когда колесо находится надъ шпалою; наблюденія дали эту разницу въ 0,015; 0,040; 0,060; по расчету же выходитъ 0,018. Для тормозныхъ колесъ наблюденія дали 0—0,065 вмѣсто 0,0145 и 0,005—0,14 вмѣсто 0,0135. Коюаръ замѣтилъ, что иногда съ увеличеніемъ скорости вліяніе величина погруженія шпалъ уменьшается.

Увеличенія устойчивости и прочности верхняго строенія пути достигаютъ обыкновенно путемъ: 1) увеличенія числа шпалъ подъ звеномъ рельсовъ; 2) увеличенія профиля рельсовъ и 3) улучшеніемъ качества балласта. Уменьшеніе разстоянія между шпалами до 50 см. практиковалось прежде въ странахъ, гдѣ шпалы обходились очень дешево, рельсы же сравнительно дорого и гдѣ, за недостаткомъ балласта и рабочей силы для содержанія пути, густо насланные шпалы были единственнымъ средствомъ обезпечить кое-какую исправность колеи изъ рельсовъ легкаго типа; устройство это выводится изъ употребленія. Въ Россіи разстояніе между шпалами менѣе 70 сант. практиковалось лишь какъ временная мѣра (на Николаев. ж. д.—63, 3 с.) Въ нормальныхъ условіяхъ разстояніе это должно быть принято 85—75 см. Очевидныя преимущества тяжелыхъ рельсовъ при усиливающемся движеніи заставляютъ дороги усиленно переходить къ большимъ профилямъ рельсовъ. Надо замѣтить, что при статической нагрузкѣ прочность балки на многихъ упругихъ опорахъ не увеличивается пропорціонально увеличенію момента сопротивленія сѣченія ея. Дѣйствительно, гибкая балка передаетъ нагрузку небольшому числу опоръ и преимущественно опорамъ, ближайшимъ къ мѣсту расположенія нагрузки. Съ увеличеніемъ жесткости балки нагрузка эта распредѣляется болѣе равномерно, а вмѣстѣ съ

тѣмъ увеличивается плечо дѣйствующаго момента, хотя нагрузка балки остается постоянною. Что касается опорныхъ давленій, то они уменьшаются по мѣрѣ увеличенія жесткости рельса. По наблюденіямъ Васютинскаго не обнаружено при переходѣ отъ рельсовъ вѣсомъ 31,45 в.м., къ рельсамъ 38 в.—м., чтобы нагрузка колеса передавалась болѣе значительному числу шпаль, но наибольшее осѣданіе шпаль уменьшилось на 18 до 39%.

Осѣданіе шпаль подъ нагрузкою, если-бы оно при небольшихъ грузахъ и было вполне упругимъ вначалѣ, производитъ въ дѣйствительности послѣ сотенъ, тысячъ нагрузокъ и разгрузокъ постоянныя деформациі ихъ основанія, требуя подбивки шпаль, подъемки осѣвшаго пути и другихъ его исправленій. Чѣмъ больше давленіе рельса на шпалу, тѣмъ скорѣе переходитъ упругое осѣданіе ея въ постоянную деформацию, производящую при динамическомъ дѣйствіи колеса весьма значительныя добавочныя напряженія въ рельсѣ. Опыты Васютинскаго показываютъ, что коэффиц. постели получается для того-же балласта и нижняго строенія болѣе съ увеличеніемъ длины шпаль или съ переходомъ къ болѣе сильному рельсу. Зависимость эта пока ближе не изслѣдована. Коэф. постели при рельсахъ 28,3 получился на 70% болѣе, чѣмъ при рельсахъ 23,4 ф.ф., т. е. увеличился почти на томъ-же отношеніи, что и моментъ инерціи рельса.

Васютинскій держится взгляда, что постепенное усиленіе рельса и вообще верхняго строенія магистральныхъ линій вызвано почти исключительно причинами экономическаго, а не техническаго свойства, а именно—стоимостью содержанія и ремонта пути, которые при большой скорости поѣздовъ и слабомъ, неустойчивомъ, верхнемъ строеніи обходятся несоразмѣрно дорого.

Недостаточная техническая разработка вопросовъ, связанныхъ съ расчетомъ верхняго строенія пути является причиною того, что усиленіе его до сихъ поръ всегда мотивируется необходимостью уменьшить напряженія въ рельсахъ.

Заграницей давно признана важность для пути высокихъ качествъ балластнаго слоя и, по надлежащемъ освѣщеніи съ экономической стороны вопроса объ очисткѣ природныхъ балластовъ или о доставкѣ съ далекихъ разстояній хорошихъ сортовъ балластнаго матеріала, тамъ этотъ вопросъ разрѣшенъ настолько удовлетворительно, что безъ принятія какихъ-либо другихъ мѣръ желѣзнодорожныя пути тамъ прекрасно сопротивляются весьма сильному движенію и даютъ спокойную ѣзду. Улучшеніе пути должно заключаться въ увеличеніи общей его устойчивости и прочности помощью гармоническаго увеличенія этихъ качествъ во всѣхъ его составныхъ частяхъ. Прочность пути безусловно

зависить больше всего отъ качества балласта; съ ними связаны въ значительной степени расходы по содержанию пути; наконецъ, безъ надлежащаго всесторонняго изученія балласта и его роли въ верхнемъ строеніи пути немислимо не только правильное пониманіе дѣйствія движущихся грузовъ по пути, но даже правильная постановка методовъ изученія этого вопроса. Вотъ почему намъ кажется необходимымъ изучать свойства балласта опытнымъ путемъ на особо устроенной станціи, а затѣмъ послѣ изученія деформаций въ балластномъ слоѣ и рельсахъ отъ статическихъ нагрузокъ, перейти къ изученію этихъ деформаций въ пути подъ вліяніемъ движущихся паровозовъ и поѣздовъ.

Резюмируя все приведенное въ настоящемъ очеркѣ касательно изученія балласта, какъ части верхняго строенія пути, можно вывести слѣдующія положенія:

I. Сводя изученіе деформаций и напряженій во всѣхъ частяхъ пути къ изученію напряженій въ рельсахъ подъ вліяніемъ движущихся по нимъ паровозовъ, обыкновенно выводятъ формулы, кажущіяся теоретически обоснованными, но, въ виду слишкомъ большого упрощенія задачи и принятія цѣлаго ряда непровѣренныхъ гипотезъ, являющіяся невѣрными; полагаютъ, что, провѣряя въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ достаточность профиля рельсовъ, получается возможность, если не предотвратить, то свести до минимума случая излома рельсовъ подъ проходящими грузами и вмѣстѣ съ тѣмъ уничтожить главную причину железнодорожныхъ крушеній.

II. Только изученіе деформаций всѣхъ составныхъ частей верхняго строенія пути въ отдѣльности и въ совокупности можетъ привести къ знанію его жизни и опредѣленію тѣхъ мѣръ, какія въ состояніи увеличить безопасность движенія. Запасъ прочности въ рельсахъ еще не означаетъ, что имѣется не меньшій запасъ прочности и устойчивости въ остальныхъ частяхъ пути, наконецъ лопнувшій рельсъ является лишь весьма рѣдко причиной крушенія.

III. Формулы, по которымъ нынѣ подсчитываютъ напряженія въ рельсахъ (предположительно-устойчивость верхняго строенія пути) не выдерживаетъ строгой критики, особенно-же динамическая формула, основанная на предположеніи Винклера.

Предпочтительнѣе принять въ основаніе методъ Н. Петрова—по найденнымъ изъ наблюденій прогибамъ въ разныхъ точкахъ рельсоваго пролета вычислить статическія напряженія и по послѣднимъ—динамическія.

IV. Для возможности рациональнаго проектированія совокупности всѣхъ частей верхняго строенія пути необходимо возможно всесто-

ронне изучить балласть, какъ самую неупругую часть и всего менѣе прочную.

V. Упругость балласта весьма незначительна и колеблется въ весьма незначительныхъ предѣлахъ, что подтверждается болѣе новыми наблюденіями. Измѣряя опусканія шпаль въ разныхъ точкахъ пути и при разныхъ условіяхъ, получаемъ большія разницы въ цифрахъ пропорциональности полныхъ опусканій нагрузкамъ.

Поэтому слѣдуетъ изучать также коэффициентъ податливости балластного слоя C_0 , характеризующій опусканія данного балласта какъ упругія, такъ и неупругія.

VI. Такъ какъ состояніе пути тѣмъ лучше, чѣмъ полнѣе балластный слой, слѣдуетъ считать C_0 болѣе большимъ у того балластного слоя, толщина коего больше. Принявъ для назначенія C_0 методъ балловъ, для полученія C_0 прибавляемъ къ C столько единицъ, сколько дециметровъ въ толщинѣ нижняго балласта, т. е. отъ полотна до подошвы шпаль.

Обыкновенно полуширина балластного слоя больше полудлины шпалы на 10 см., при увеличеніи этой разницы на дециметръ слѣдуетъ прибавить 1 къ значенію C_0 . Считая нормальной длину шпалы 2,7 м., прибавляемъ или отнимаемъ единицу на всякій дециметръ измѣненія этой длины. Если поверхность полотна обдѣлана правильно, дренирована или вполне водонепроницаема, если мы увѣрены, что при этомъ нѣтъ балластныхъ корытъ, можно прибавить еще 1, а при обдѣлкѣ верха полотна скосами съ уклономъ 0,1—0,2 еще единицу.

Въ случаѣ примѣненія (при плохомъ мелкомъ балластѣ) американскаго выпуклаго профиля балластного слоя, слѣдуетъ прибавлять къ значенію C_0 отъ 1 до 5, въ зависимости отъ соответствія профиля съ качествами матеріала балласта и удачныхъ практическихъ результатовъ примѣненія этой мѣры въ данномъ мѣстѣ.

VII. Лабораторные опыты съ балластами изъ 14 карьеровъ Сибирской ж. д. показали, что тѣ балласты хуже и менѣе упруги, которые менѣе однородны по крупности зеренъ. Для балластовъ, состоящихъ главнымъ образомъ изъ гальки или щебня, и въ коихъ примѣсь гравія и песку меньше 10%, къ значенію коэфф. C_0 слѣдуетъ прибавлять 5, уменьшая эту цифру на единицу при увеличеніи примѣси на 10%. Для балластовъ, состоящихъ преимущественно изъ гравія (гравій—отъ діаметра зерна 5 мм. до 1 мм.) и песку,—прибавляемъ къ C_0 единицу въ томъ случаѣ, если преобладающій элементъ изъ указанныхъ двухъ входитъ въ смѣсь въ количествѣ не менѣе 30% и еще единицу въ случаѣ, если средняя крупность песку отдѣльно взятаго не менѣе $\frac{1}{2}$ мм. При содержаніи глины отъ 5 до 10% уменьшаемъ C_0 на 1, при содерж. до 15% на 2, до 17% на 3, при 19% на 4, при 20% на 5 и дальше,

отнимая 1 на каждый новый процентъ содержанія глины. Если щебеночный балластъ состоитъ изъ очень крупноколотыхъ кусковъ, то надо уменьшить значеніе C_0 на 1—2.

Если приняты спеціальныя мѣры противъ угона пути (планки у торцовъ шпаль, связываніе шпаль по нѣскольку, свайки, особо тщательная подбивка стыковыхъ шпаль мелкимъ щебнемъ и т. д.), надлежитъ къ величинѣ C_0 прибавлять 1—5.

Если имѣются опыты съ опредѣленіемъ сопротивленія ненагруженнаго забалластированнаго пути, слѣдуетъ C_0 увеличить на число тоннъ, соотвѣтствующее замѣтному сдвигенію (не менѣе 2 мм.), за вычетомъ 2. При отсутствіи подобныхъ опытовъ, если нижній и верхній балластъ состоитъ изъ средней крупности щебня съ острыми ребрами и углами, слѣдуетъ увеличить C_0 на 2—3, для песчаного (строугольного) прибавлять 1, а для глинистаго, скользяго уменьшить C_0 на 1; если шпалы покрыты сверху балластомъ, прибавлять къ C_0 единицу. Если шпалы въ пути такихъ размѣровъ, что подбивка подъ ними держится долго, если не замѣчается неравномѣрныхъ осѣданій шпаль или ихъ частей, шпалы не пригибаются и не пружиняютъ, то слѣдуетъ прибавлять къ значенію C_0 отъ 1 до 5.

Считая нормальную убыль въ годъ 5% объема балластнаго слоя, слѣдуетъ для тѣхъ балластовъ, которые требуютъ большаго количества на ежегодный ремонтъ, уменьшить C_0 на число процентовъ свыше указанныхъ 5.

VIII. Желая знать наибольшее возможное опусканіе шпалы, принявъ во вниманіе имѣющіяся свойства балласта, слѣдуетъ пользоваться напр. формулой Циммермана $y = \frac{16a^2 + 112a + 11}{32a(2a + 5)} \cdot \frac{P}{D}$, введя въ нее C^0 вмѣсто C . Такъ какъ напряженіе въ рельсѣ существенно не измѣняется отъ того, получаютъ-ли шпалы сверхъ упругихъ прогибовъ еще и остаточные, то для расчета прочности самаго рельса, пользуясь формулой Циммермана $M = \frac{8a + 7}{16a + 40} Pl$, можно въ нее вводить C .

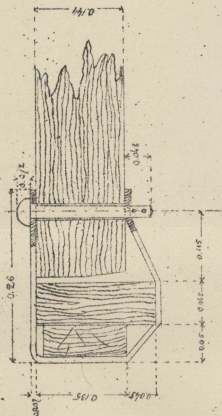
IX. Изъ опытовъ съ электровозами можно заключить, что при передвиженіи паровозовъ съ извѣстною скоростью чередующіяся то меньшія, то большія деформачіи въ пути только усиливаются отъ присутствія массъ съ перемѣннымъ движеніемъ, главная-же причина ихъ заключается въ невозможности держать путь идеально вырехтованнымъ.

X. Теорію, предложенную Н. Петровымъ для подсчета напряженій въ рельсахъ и прогибовъ пути при динамическомъ дѣйствіи нагрузки, слѣдуетъ считать не дающей достаточно вѣрныхъ результатовъ при подсчетѣ напряженій въ матеріалѣ рельсовъ, но его способъ слѣдовало-бы

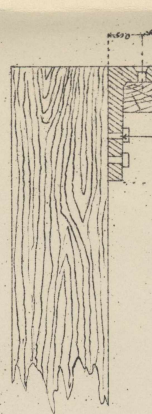
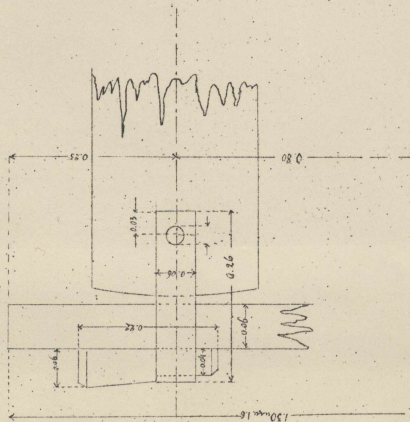
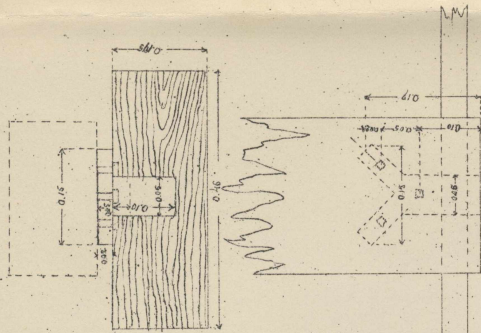
примѣнять для опредѣленія осадокъ шпаль и балласта при движеніи по пути грузовъ съ различной скоростью. При этомъ въ его формулѣ слѣдуетъ замѣнить черезъ C_0 коэффициентъ C , который онъ ошибочно принимаетъ колеблющимся въ значительныхъ предѣлахъ. Для каждаго пути слѣдовало-бы установить максимальную величину неровностей по вертикали, какую слѣдовало-бы вводить въ подобный подсчетъ осадокъ.

XI. Для рѣшенія многихъ вопросовъ, касающихся пути и, главнымъ образомъ, балласта необходимы опыты съ желѣзнодорожнымъ путемъ, спеціально устроеннымъ для этой цѣли, причемъ надъ путемъ долженъ помѣщаться передвижной приборъ для производства статическаго давленія на путь въ любой его точкѣ, а сверхъ того должны быть произведены многочисленные наблюденія пути подъ движущимися по немъ съ различною скоростью поѣздами.—

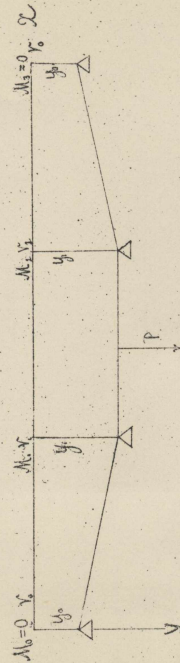
Теперь 1.



Ліпень 2.



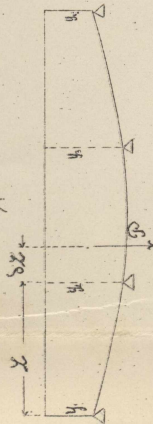
Sept. 10.



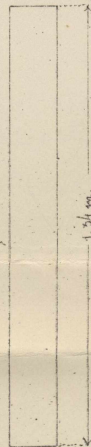
Septm. 12.



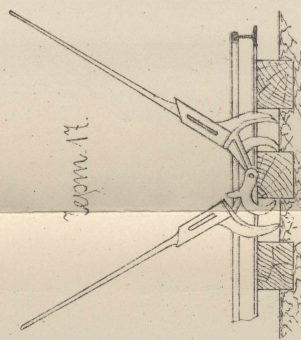
изъём. 11.



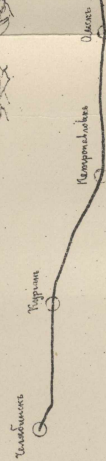
Терм. 14.

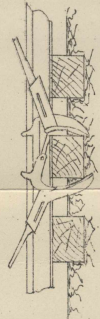
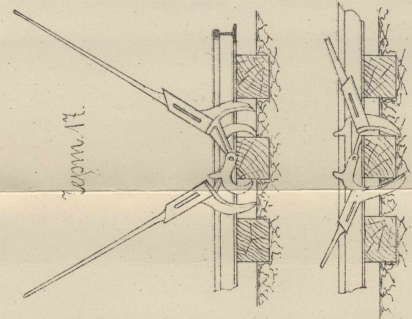
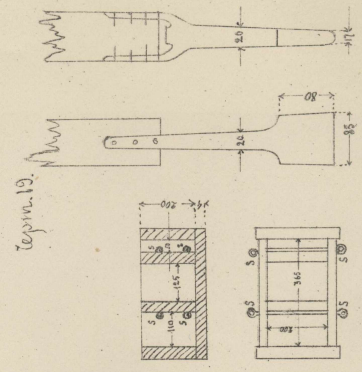
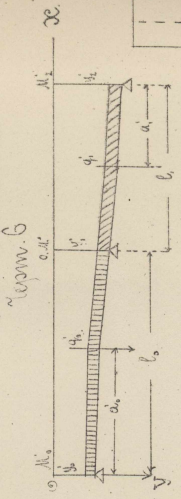
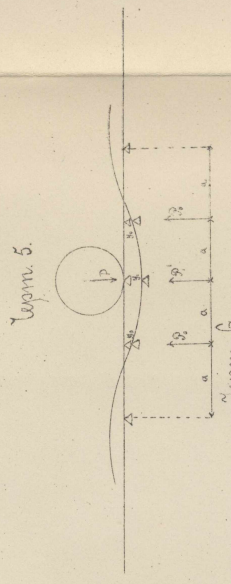
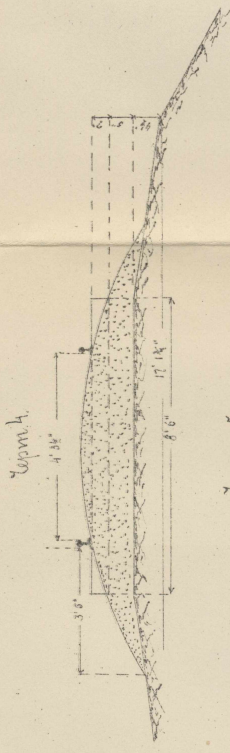


21 wieder

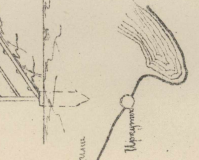
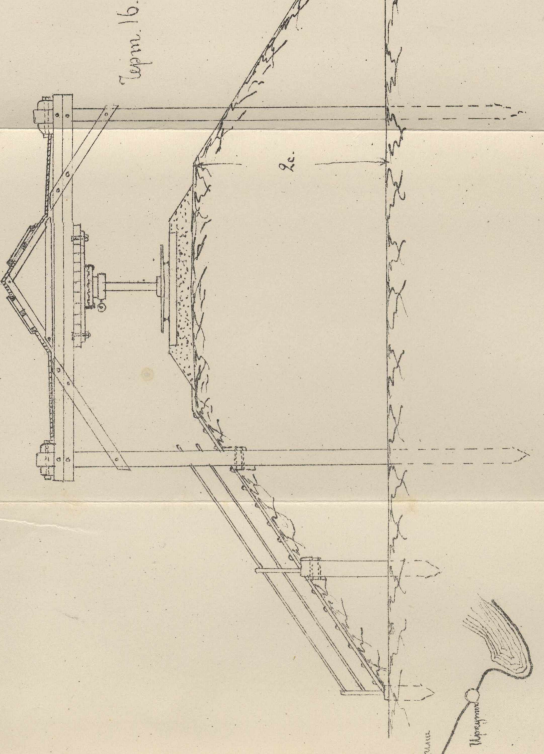
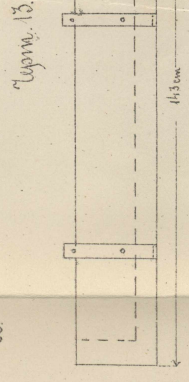
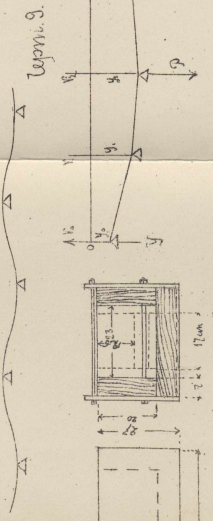
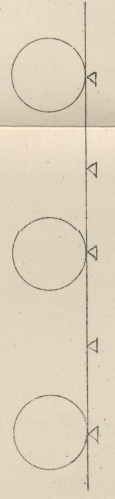
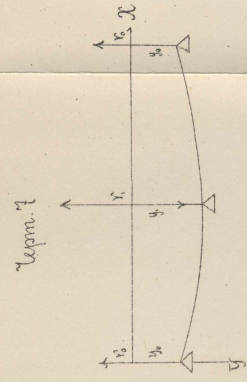


Sept. 20



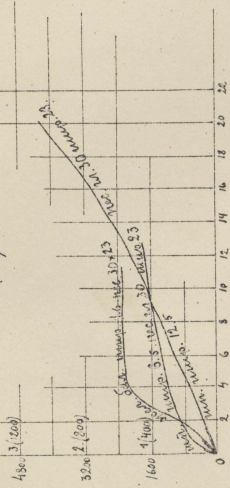


Упр. 20.

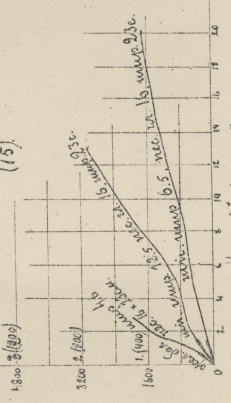


Каналы
Дамы
Крылья

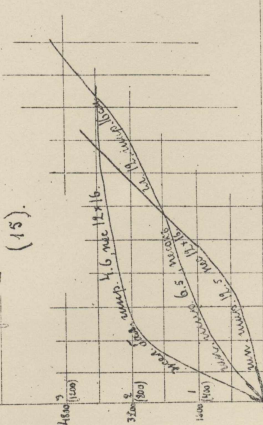
Мелкий песок
глуб. слоя 30", шир. - 23".
(15)



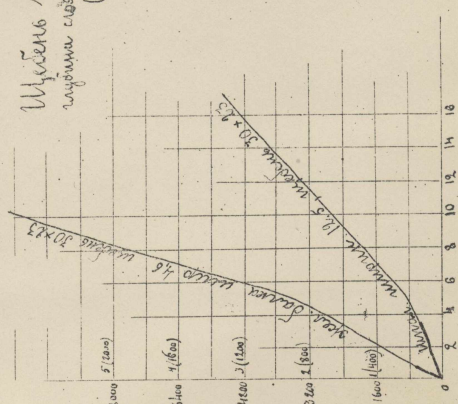
Мелкий песок
глуб. слоя 16", шир. 23".
(15)



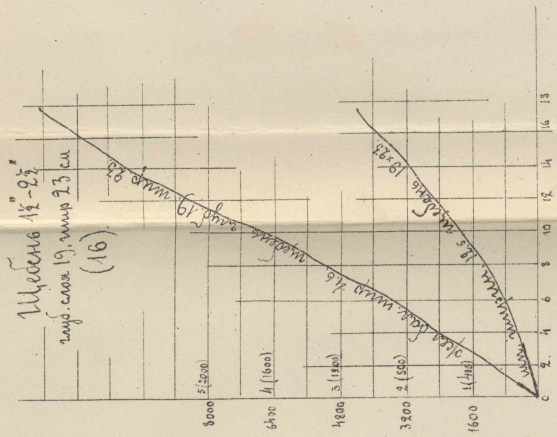
Мелкий песок
глуб. слоя 12", шир. 16".
(15)



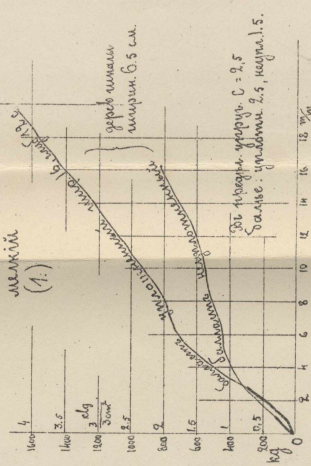
Щебень 1 1/2" - 2 1/2"
глуб. слоя 30", шир. 23".
(16)



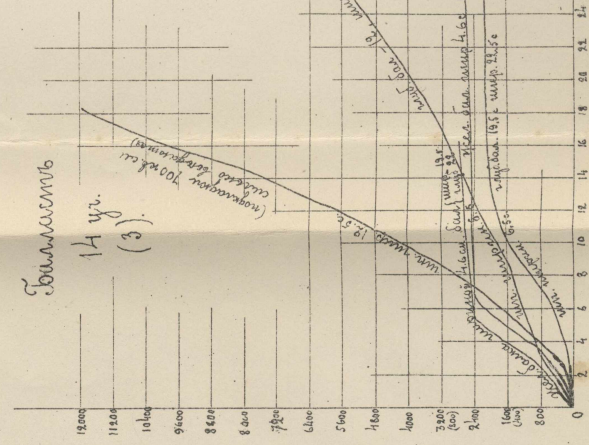
Щебень 1 1/2" - 2 1/2"
глуб. слоя 19", шир. 23".
(16)



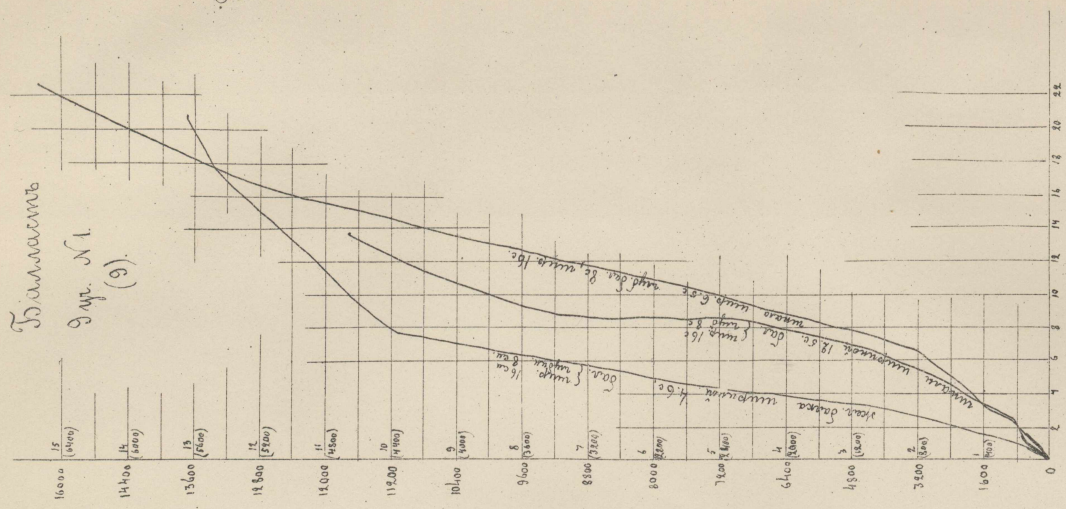
Гравий
мелкий
(1)



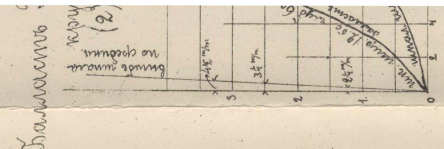
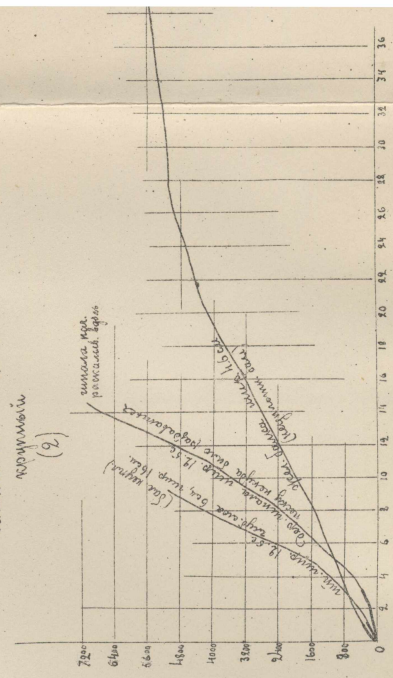
Гравий
14 гр.
(3)



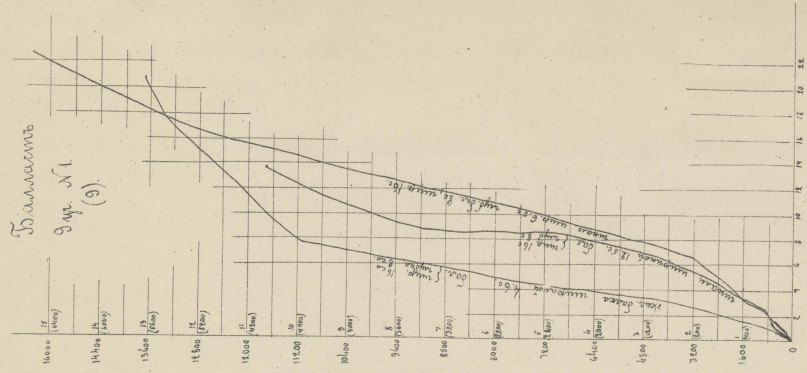
Гравий
9 гр. №1
(9)



Гравий
копаний
(9)



Баранце
9 пр. №1
(9)

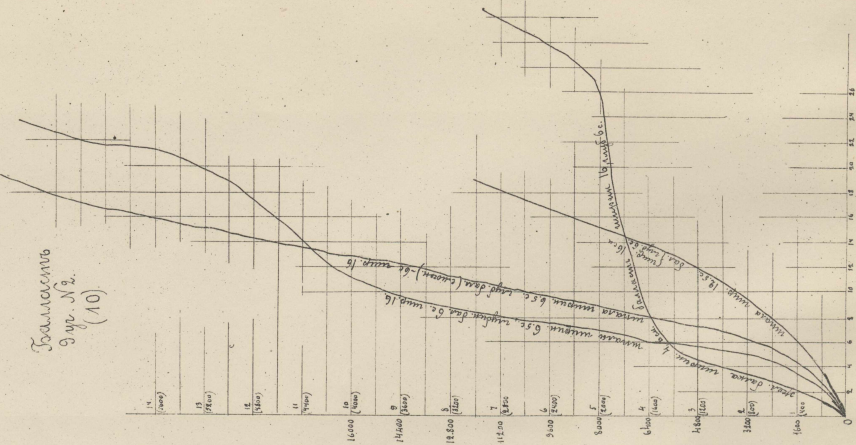


депр. 15.

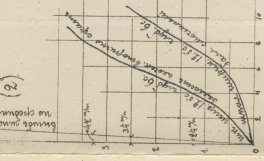
Баранце

Получены данные поправки
всего исправлено в процентах поправки
уменьшения баранца.

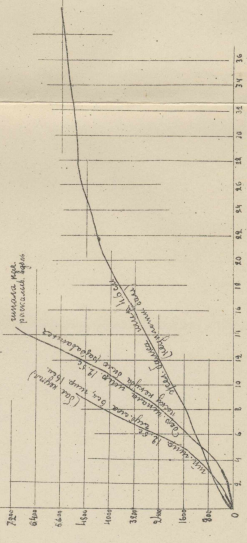
Баранце
9 пр. №2
(10)



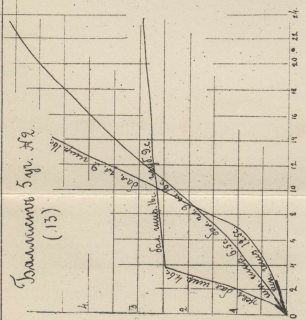
Баранце Канский
рекумен
(2)



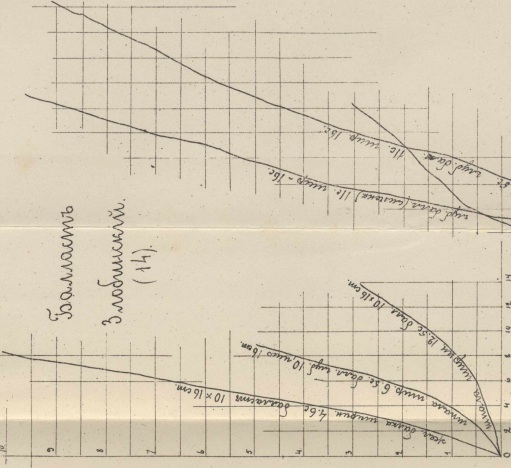
Баранце Канский
рекумен
(2)



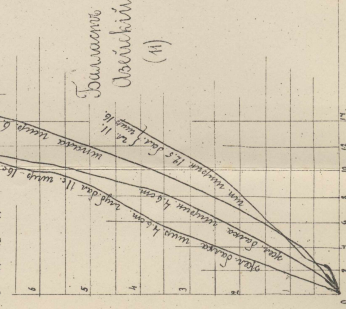
Баранце 5 пр. №1
(12)



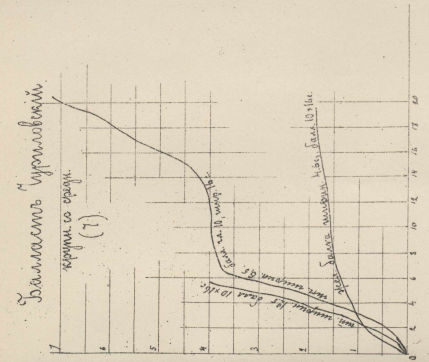
Баранце
Заболотный
(14)



Баранце
Заболотный
(14)



Баранце угрюмовский
крупнее 0.5 пр.
(7)



Баранце
угрюмовский
мелче
(8)

