

А. И. ОЛЬДЕНБОРГЕРЪ.

СПЛОШНОЙ
РЕЛЬСОВЫЙ ПУТЬ
БЕЗЪ ЗАЗОРА ВЪ СТЫКЪ.

Изъ журнала „Жел.-дор. Дѣло“ 1904 г. № 14—15.



С.-ПЕТЕРБУРГЪ.

Типографія П. О. Пантелѣва. Вереѣская, 16.
1904.



Сплошной рельсовый путь безъ зазора въ стыкѣ.

Стенографическій отчетъ по докладу А. И. Ольденборгера и бесѣдѣ въ VIII Отдѣлѣ, совместно съ III Отдѣломъ, И. Р. Техническаго Общества 18-го декабря 1903 г., подъ председательствомъ А. Н. Горчакова.

Предсѣдатель. Милостивые государи! Программа сегодняшняго доклада состоитъ въ слѣдующемъ:

О вліяніи зазора въ стыкѣ на изнашиваніе пути и подвижнаго состава.

Различные способы соединенія рельсовъ въ стыкѣ.

Удлиненіе рельсовъ.

Сплошной и сваренный рельсы.

Возможность примѣненія вообще глухого соединенія рельсовъ.

Возможное вліяніе температуры на внутреннія напряженія. Различіе въ этомъ отношеніи между открытымъ путемъ и уложеннымъ въ мостовой одеждѣ дороги.

Возможность управлять деформаціей сплошнаго пути.

Способъ устройства укрѣпленія рельсовъ на опорахъ.

Металлическія опоры, достоинства ихъ и недостатки.

Желѣзо-бетонныя опоры. Расчетъ прочности ихъ.

Изъ программы этой видно, что сегодняшній докладъ составитъ какъ бы развитіе одной части прошлогодняго доклада И. Р. Стецевича, а именно о сплошныхъ рельсахъ, и въ то-же время онъ будетъ продолженіемъ

бесѣды, бывшей въ нынѣшнемъ, 1903 году, въ 3-мъ отдѣленіи сѣзда по вопросу о распространеніи примѣненія желѣза въ Россіи, такъ какъ касается желѣзобетонныхъ шпалъ.

Прошу васъ, Александръ Ивановичъ, приступить къ докладу.

А. И. Олденборгеръ (читаетъ). Милостивые государи! Все увеличивающіеся вѣсъ паровозовъ и поѣздовъ, частота и скорость движенія на желѣзныхъ дорогахъ естественно вызываютъ особыя старанія со стороны управленій дорогъ увеличить прочность пути и гарантировать безопасность движенія по нему.

Одинъ изъ элементовъ пути—рельсы, а потому усиленіе ихъ профиля можетъ довести и дѣйствительно доводитъ путь до той степени прочности, которая зависитъ отъ профиля рельсовъ; но не такъ обстоитъ дѣло съ основаніемъ пути и способомъ скрѣпленія рельсовъ между собою.

Основаніемъ рельсовыхъ путей служатъ главнымъ образомъ, а въ Россіи исключительно, деревянные поперечины—шпалы.

Долговѣчность деревянныхъ шпалъ весьма не велика и, въ зависимости отъ качества и породы дерева, условій нахожденія его въ пути и консервированія шпалъ, колеблется въ срокахъ между 3—4 и 8—9 годами, по истеченіи которыхъ шпала признается уже негодной къ употребленію. Но очевидно, что и ранѣе истеченія этого срока прочность шпалъ, съ самаго перваго дня ихъ укладки, постепенно уменьшается, и весьма трудно опредѣлить точно моментъ, когда эта прочность начинаетъ внушать сомнѣнія, или, выражаясь языкомъ строительной механики, моментъ, когда запасъ прочности шпалы не будетъ менѣе признаваемого безопаснымъ.

Способы укрѣпленія рельсовъ на шпалахъ помощью костылей или даже шуруповъ не гарантируютъ отъ возможности расширенія пути, особенно при шпалахъ, пролежавшихъ уже нѣсколько лѣтъ и утерѣвшихъ первоначальную прочность и вязкость.

Соединеніе рельсовъ между собою накладками и болтами, дающее возможность отдѣльнымъ звеньямъ рельсовъ удлиняться или укорачиваться при измѣненіи тем-

пературы, ведетъ къ тому, что подъ колесами подвижного состава не получается сплошной, непрерывной опоры, и, практически, уже въ весьма скоромъ времени послѣ укладки или смѣны рельсовъ, накладки не *скрѣпляютъ* рельсовъ одного съ другимъ, а только *соединяютъ* ихъ; и какъ ни кратокъ, съ одной стороны, промежутокъ времени, въ который колесо переходитъ мѣсто соединенія смежныхъ рельсовъ, какъ ни малъ, съ другой стороны, зазоръ между смежными звеньями, достигающій, однако, до 7 и даже 10 м м при 0°Ц., тѣмъ не менѣе, несомнѣнно, что эта часть пути находится не въ одинаковыхъ условіяхъ работы съ отдѣльными непрерывными рельсами и во всякомъ случаѣ въ условіяхъ худшихъ; говорить объ этомъ много не зачѣмъ—всѣмъ извѣстно, что стыкъ рельсовъ съ зазоромъ между ними—слабое мѣсто пути, особенно, пути на поперечныхъ опорахъ. Естественно, что слабое мѣсто должно больше и страдать, т. е. въ данномъ случаѣ подвергаться наибольшей деформации, какъ временной, такъ и постоянной, такъ какъ деформация въ стыкѣ зависитъ отъ того, что головка рельса, по которой катится колесо, составляетъ съ головкой рельса, на которую колесо еще не вкатилось, нѣкоторый уголъ, и потому въ моментъ нахожденія колеса надъ стыкомъ, въ зависимости отъ этого угла и величины зазора, несомнѣнно, происходитъ болѣе или менѣе сильный ударъ, всегда ощущаемый даже на самомъ лучшемъ пути; ударъ этотъ, повторяясь множество разъ, вызываетъ изнашиваніе головокъ рельсовъ въ стыкѣ, смятіе ихъ, передачу ударомъ болѣе значительнаго, чѣмъ на остальныхъ шпалахъ, давленія на балластъ, болѣе значительное погруженіе въ балластъ этихъ шпалъ, выжиманіе балласта изъ-подъ нихъ, опусканіе ихъ и въ результатъ, при недостаточно частой подбивкѣ шпалъ, волнообразную деформацию пути, которая, вмѣстѣ съ ослабленіемъ соединенія рельсовъ въ стыкѣ отъ ударовъ изнашиваніемъ головки рельсовъ у стыка и соотвѣтственнымъ изнашиваніемъ колесъ подвижного состава отъ удара и отъ обратнаго вліянія той-же изношенной поверхности рельсовъ у стыка, ведетъ къ дальнѣйшему и сильнѣйшему изнашиванію рельсовъ и распространяется дальше и на эти послѣдніе и соотвѣтственно на колеса подвижного

состава; удары эти и сотрясения, ими производимы, передаются затѣмъ другимъ частямъ подвижного состава, частямъ, иногда сильно страдающимъ отъ нихъ (въ особенности при электродвигателяхъ), и, наконецъ, воздействующихъ вредно на тѣхъ, для передвиженія которыхъ назначены желѣзныя дороги, т. е. на пассажировъ и грузы.

Борьба съ этимъ вреднымъ и слабымъ мѣстомъ пути, со стыкомъ, выражается въ томъ, что усиливаютъ стыки формой и размѣромъ накладокъ, затѣмъ примѣненіемъ особыхъ, подхватывающихъ колесо на стыкѣ, накладокъ (St. ssfangschiene), далѣе, уменьшеніемъ количества стыковъ увеличеніемъ длины рельса (доводятъ до длины 18 метровъ и болѣе) и, наконецъ, совершеннымъ уничтоженіемъ зазора между отдѣльными рельсами, т. е. именно тѣмъ, что представляется, казалось бы, самымъ рациональнымъ. Способомъ такого устройства пути служатъ залитый стыкъ Фалька и его видоизмѣненія, спаянный термитомъ стыкъ Гольдшмидта и электрически спаянный стыкъ; эти способы или неизмѣняемое соединеніе рельсовъ помощью накладокъ и болтовъ или заклепокъ находятъ уже нѣкоторое примѣненіе въ желѣзнодорожномъ дѣлѣ, но главнымъ образомъ они примѣняются при устройствѣ городскихъ дорогъ. Причиной этого служатъ, во-первыхъ, еще недостаточная испытанность этихъ способовъ и отсутствіе полной увѣренности, поэтому, въ надежности такого соединенія рельсовъ; но для городскихъ дорогъ, гдѣ и скорость движенія, и вѣсъ вагоновъ меньше, гдѣ рельсы соединены между собой поперечными тягами и поддержкою пути служатъ не отдѣльныя опоры, а сплошное основаніе, является меньше опасеній за возможность катастрофы, если бы такой стыкъ и не выдержалъ; другая причина лежитъ въ значительности внутреннихъ напряженій въ спаянномъ или залитомъ стыкѣ въ зависимости отъ измѣненій температуры, но такъ какъ на городскихъ дорогахъ рельсъ погруженъ въ одежду улицы, а потому вліянія измѣненій температуры, въ данномъ случаѣ менѣе значительны, а затѣмъ, благодаря особо тяжелымъ типамъ рельсовъ городскихъ дорогъ, эти внутреннія напряженія, суммирующіяся съ вызываемыми полезной нагрузкой напряженіями, не могутъ

быть опасными для прочности рельса, такъ какъ далеко не доходятъ до предѣловъ прочнаго сопротивленія, то въ виду этого понятно, почему сплошные рельсы находятъ больше примѣненія на городскихъ дорогахъ.

Позволю себѣ привести небольшой примѣръ, подтверждающій безпачность примѣненія сплошного рельса на городскихъ дорогахъ.

Если допустить, что путь уложенъ такимъ образомъ, чтобы при 0° Ц въ стыкѣ не было никакого зазора, то, принимая наивысшую температуру въ +35° Ц и основываясь на опытахъ Байера (K. Bayer. Schienens hweissung. Wisbaden, 1902) можно принять, что средняя температура рельса, погруженного въ уличную одежду будетъ $35 \times 0,75 = 26,25^\circ$; затѣмъ, принимая коэффициентъ расширенія стали $\alpha = 0,00001079$ и модуль упруости $2,10^6$, получимъ слѣдующее уравненіе для опредѣленія напряженія въ рельсѣ, не могущемъ удлиняться при возвышеніи температуры $\sigma = E \frac{\Delta L}{L} = E \frac{K(t-t_0)L}{L} = EK \times$

$$\times (t-t_0) = 2,10^6 \times 0,00001079 \times 26,25 = 566 \frac{\text{кгр.}}{\text{см.}}, \text{ — оче-}$$

видно, величина допустимая, и опыты прокладки путей городскихъ дорогъ, вполне подтверждаютъ возможность и безпачность уничтоженія зазора между рельсами.

Что касается открытых желѣзнодорожныхъ путей, то тамъ условія нѣсколько иныя, во первыхъ, напряженіе въ рельсѣ отъ полезной нагрузки часто доходитъ до предѣловъ прочнаго сопротивленія матерьяла (по крайней мѣрѣ, по расчету), а потому значительны добавочныя напряженія отъ измѣненія температуры представлялись бы уже не вполне безпачными, а, во вторыхъ, желѣзнодорожный рельсъ, открытый, уложенный на деревянныхъ шпалахъ, можетъ легче изгибаться и деформироваться подъ вліяніемъ измѣненій температуры и притомъ одинъ рельсъ пути независимо или непараллельно другому, такъ какъ сопротивляющееся этимъ деформациямъ противоѣдѣствіе костылей, которыми рельсы прикрѣплены къ шпаламъ, совершенно нельзя сравнивать съ сопротивленіемъ уличной одежды и поперечныхъ тягъ рельсовъ городскихъ дорогъ.

Не вдаваясь въ сложные расчеты, касающіеся опредѣленія упругой линіи рельса, подверженнаго измѣ-

нению температуры и не могущаго свободно удлиняться, интересно выяснить по крайней мѣрѣ, въ какой плоскости, вертикальной или горизонтальной, наиболѣе вѣроятна деформация при извѣстныхъ условіяхъ.

Изгибу рельса въ горизонтальной плоскости противодѣйствуетъ его жесткость, измѣряемая моментомъ инерціи его сѣченія, по отношенію къ вертикальной оси, и если сопротивление срыванію костылей обезпечено, то и сопротивление тренія шпала по балласту; изгибу рельса въ вертикальной плоскости противодѣйствуютъ опять-таки его жесткость, но измѣряемая въ данномъ случаѣ моментомъ инерціи сѣченія относительно горизонтальной оси, вѣсъ рельса и, если соединеніе рельса со шпалами надежно, — точно также вѣсъ шпала и треніе ихъ въ балластѣ.

Сказать положительно, въ какой изъ плоскостей при этихъ условіяхъ сопротивленіе изгибу больше, — затруднительно, хотя, если принять въ расчетъ, что моментъ инерціи рельса относительно вертикальной оси меньше, чѣмъ относительно горизонтальной, и что сопротивление тренія, составляя нѣкоторую часть вѣса, меньше самаго вѣса, тогда можно допустить, что меньше сопротивление изгибу будетъ въ плоскости горизонтальной, но при этомъ остается неуточненнымъ вліяніе той части балласта, которая прикрываетъ концы шпалъ и можетъ, при извѣстныхъ условіяхъ, оказать громадное сопротивление сдвигу шпалы, поэтому направленіе деформаций не можетъ быть точно установлено. Если же, однако, представить себѣ рельсовый путь, въ которомъ прикреплена рельса къ шпалѣ таково, что рельсъ можетъ двигаться вдоль шпалы, преодолевая лишь треніе, зависящее отъ его собственнаго вѣса, и не можетъ отдѣлиться отъ шпалы въ вертикальной плоскости, то при такихъ условіяхъ, несомнѣнно, наименьшее сопротивление деформации будетъ въ горизонтальной плоскости, и потому изгибъ, при измѣненіи температуры, произойдетъ въ этой именно плоскости. При прямомъ рельсовомъ пути представляется все же невозможнымъ предвидѣть, въ какую сторону онъ изогнется, и болѣе того, вполне возможно, что оба рельса пути, если они не связаны между собою поперечными тягами, могутъ изогнуться въ разныя стороны; поэтому, чтобы была возможность

предвидѣть и управлять изгибами рельсовъ въ ту или другую сторону, необходимо создать условія, при которыхъ изгибъ въ одну изъ сторонъ былъ бы облегченъ, или же затрудненъ въ другую, и чтобы оба рельса пути были связаны между собою неизмѣнно. Наиболѣе удобный приемъ для того, чтобы заранее опредѣлить и задать направленіе изгиба рельса, состоитъ въ томъ, что, при самой укладкѣ пути, ему даютъ форму, состоящую изъ ряда кривыхъ обратной, по отношенію одного участка къ другому, кривизны; тогда, при измѣненіи температуры, радіусы кривизны отдѣльныхъ участковъ будутъ увеличиваться или уменьшаться, но во всякомъ случаѣ, не будетъ никакихъ основаній, а поэтому и возможности, для этихъ кривыхъ мѣнять знакъ радіуса кривизны.

Итакъ, при устройствѣ рельсового пути безъ зазора въ стыкѣ необходимо будетъ при значительномъ измѣненіи температуры „перешить“ путь, увеличивая или уменьшая стрѣлку кривизны рельсовъ, а въ достиженіи возможной простоты и удобства перешивки пути, при гарантіи, въ то же время, неизмѣняемости колеи, заключается вся практическая трудность рѣшенія задачи устройства непрерывнаго рельсового пути.

Перешивка на деревянныхъ шпалахъ, хотя бы 3 или 4 раза въ году, очень затруднительна, не говоря уже о томъ, что деревянные шпалы значительно ослабляются вбиваніемъ и вытаскиваніемъ костылей.

Поэтому, при рѣшеніи вопроса объ устройствѣ пути безъ зазоровъ въ стыкахъ, приходится попутно найти наиболѣе пригодный для такого пути способъ прикреплена рельса къ поперечинѣ и конструкцію самой поперечины.

Не касаясь пока матерьяла, изъ котораго можетъ быть изготовлена такая поперечина, рассмотримъ способъ укрѣпленія на ней рельса. Способъ этотъ, который, быть можетъ, окажется послѣ испытаній удобнымъ для „перешивки“ пути, состоитъ въ слѣдующемъ.

Представимъ себѣ, что въ верхней поверхности шпалы сдѣланы прорѣзы, и такой ширины, чтобы въ нихъ свободно проходила головка болта, имѣющая форму, показанную на фиг. 2 (см. въ приложеніи листъ чертежей), и такой длины, чтобы, при вы-

бравших радиус кривой и центральномъ углѣ, при наибольшемъ, данной мѣстности соответствующемъ, колебаніи температуры, разниа стрѣлокъ кривыхъ, не обуславливающая еще сколько-нибудь опасныхъ напряженій, была менѣе этой длины на толщину болта; затѣмъ представимъ себѣ, что это отверстіе, углубляясь въ тѣло шпалы, заканчивается расширеніемъ, и вся коробка для помѣщенія головки и нижней части болта имѣетъ видъ, показанный на *фиг. 3*, причемъ на *фиг. 3* (1: 3) изображено пунктиромъ положеніе головки болта при опусканіи его въ отверстіе сверху, а затѣмъ сплошными линіями положеніе его при поворотѣ на 90°, при которомъ головка болта, какъ ясно видно на *фиг. 2*, входитъ плотно въ коробку и повернувшись въ ней не можетъ; если на этотъ болтъ затѣмъ надѣтъ особаго рода подкладную шайбу, захватывающую выступомъ подошву рельса, а сверху шайбы закрутить гайку, то, очевидно, что рельсъ будетъ прикрученъ къ шпалѣ настолько прочно, насколько это окажется нужнымъ.

Укрѣпивши такимъ образомъ оба рельса, соответственно ширинѣ колеи, легко будетъ, въ случаѣ надобности, ослабивши гайки, передвинуть рельсы въ ту или другую сторону настолько, чтобы, увеличивая или уменьшая стрѣлку кривой пути, а слѣдовательно, и длину самой кривой, сообразно измѣненію температуры, если не совсѣмъ уничтожить внутреннія напряженія въ рельсѣ, зависяція отъ несвободнаго положенія рельсовъ при измѣненіи температуры, то сдѣлать ихъ настолько ничтожными, насколько это будетъ признано желательнымъ. Затѣмъ гайки закручиваются, и рельсы вновь закрѣплены на шпалахъ.

Возвращаясь къ вопросу о наиболѣе рациональной формѣ кривой, по которой долженъ быть построенъ элементъ пути, слѣдуетъ замѣтить, что если избирать эту форму по чисто теоретическимъ соображеніямъ, то она подходила бы къ формѣ пѣльной линіи; но при такой формѣ радиусы кривизны были бы переменными въ разныхъ точкахъ кривой, что влекло бы за собой необходимость различнаго повышенія наружной кривой, достигнуть чего было бы если и возможно, то все-таки затруднительно; а потому, жертвуя нѣсколько

этой теоретической формой, слѣдуетъ остановиться на дугѣ круга, отличающейся, впрочемъ, при большомъ радиусѣ и маломъ центральномъ углѣ, настолько незначительно отъ теоретической кривой, что разницей этой можно пренебречь въ виду изложенныхъ практическихъ удобствъ кривой по дугѣ круга.

Слѣдуетъ еще упомянуть объ одномъ обстоятельстве, касающемся раздѣленія пути на кривые элементы. Какъ уже было упомянуто вначалѣ, предполагено устраивать путь изъ кривыхъ, имѣющихъ обратный знакъ кривизны. Точки перегиба при этомъ условіи, если длины обоихъ прилегающихъ элементовъ будутъ мало разниться между собою, будутъ испытывать при измѣненіи температуры усилія, точно также мало разнящіяся одно отъ другого и направленныя прямо противоположно, чѣмъ устраняются опасенія возможности сдвига этихъ точекъ перегиба. Если бы, однако, такіа опасенія все же существовали, то, во-первыхъ, своевременной перешивкой пути устраняются почти совершенно всякія усилія на точку перегиба, а во-вторыхъ, шпалу, на которой эта точка перегиба закрѣплена, вполне возможно устроить такъ, чтобы не опасаться сдвига.

Еще слѣдуетъ указать, что для плавности перехода съ кривой одного знака на кривую противоположнаго знака, ихъ можно сопрягать у точки перегиба кривыми вида, напр., $y = \frac{x^3}{p}$ (кубическая парабола).

Не касаясь здѣсь другихъ деталей, которыя имѣютъ, конечно, нѣкоторое значеніе и могли бы представить интересъ, я, чтобы не затрунять вашего вниманія, и по другимъ причинамъ перейду къ дальнѣйшимъ соображеніямъ о системѣ шпалъ.

Осуществленіе описаннаго способа укрѣпленія рельса при деревянной шпалѣ весьма затруднительно, чтобы не сказать—невозможно, а потому, не отказываясь отъ самаго способа, естественно обратиться къ другимъ матеріаламъ для шпалы; ими могутъ быть желѣзо, сталь и желѣзо-бетонъ, а также и другіе матеріалы. При сравненіи, какъ матеріала для шпалъ, желѣза и желѣзо-бетона являются вопросы двоякаго рода: вопросъ о прочности, долговѣчности, удобствахъ изготовленія и пр., т. е. вопросъ чисто техническій, и другой вопросъ

о сравнительной стоимости, т. е. чисто экономической. Въ пользу желѣзной шпалы говоритъ важное обстоятельство—это то, что желѣзные шпалы уже испытаны, и во всякомъ случаѣ прочность ихъ можетъ считаться вѣдъ сомнѣнія. Что касается долговѣчности ихъ, то тутъ уже имѣются нѣкоторые соображенія, почти уравнивающія ихъ, въ отношеніи долговѣчности, съ желѣзо-бетонными; дѣйствительно, желѣзная или стальная шпала, помимо могущихъ произойти въ ней измѣненій, подъ вліяніемъ большихъ, допускаемыхъ въ ней напряженій, подвержена дѣйствию атмосферныхъ вліяній и будетъ, несомнѣнно, ржавѣть, что, уменьшая и безъ того сравнительно небольшую толщину ея стѣнокъ, будетъ вліять на прочность шпалы; во сколько времени ржавчина и другія условія уменьшатъ прочность шпалы настолько, что ее придется мѣнять, установить сколько-нибудь точно, конечно, трудно за недостаткомъ опыта, но весьма вѣроятно, что незащищенная отъ дѣйствія ржавчины шпала уже въ какой-нибудь десятокъ лѣтъ подвергнется уменьшенію прочности и долѣе 30—35 лѣтъ едва-ли прослужитъ. Защитить шпалу отъ дѣйствія ржавчины было бы возможно, покрывая ее водонепроницаемымъ слоемъ, краской, смолой и т. п. и повторяя эту окраску каждые 2—3 года, но это вызвало бы, помимо расходовъ на окраску, расходы и неудобства весьма значительные на разборку и сборку вновь пути и необходимость запаса смѣнныхъ шпалъ.

Кромѣ этихъ соображеній нельзя не указать на отрицательное качество желѣзной шпалы—это ея малый вѣсъ, меньшій даже, чѣмъ вѣсъ деревянной (сосновая шпала нормальной толщины вѣситъ около 6 пуд. желѣзная же типа весьма тяжелого—4,5 пуд.). Вѣсъ шпалы несомнѣнно, оказываетъ вліяніе на работу пути, и чѣмъ вѣсъ шпалы больше, тѣмъ она выгоднѣе для дороги; въ цѣляхъ увеличенія вѣса желѣзныхъ шпалъ высказывались предположенія, что балластъ, набитый въ шпалу, увеличиваетъ ея массу, но едва ли это основательно при корытообразной, открытой снизу шпалѣ. Еще одно соображеніе, также не въ пользу желѣзной шпалы—это необходимость подъ нее балласта изъ гравія или щебня, стоящихъ, вообще, дороже обыкновенно применяемаго, по крайней мѣрѣ въ Россіи—песчаного.

Таковы недостатки желѣзныхъ шпалъ съ технической стороны; конечно, эти недостатки все же не могли бы служить причиной отказа отъ желѣзныхъ шпалъ; самой существенной стороной вопроса, по крайней мѣрѣ для Россіи, является экономическая сторона; съ этой стороны желѣзная шпала не въ состояніи конкурировать съ деревянной, а потому и попытки ввести ее могли бы совершиться лишь за счетъ жертвъ государства и общества частныхъ дорогъ; разсчитывать же на такія жертвы, хотя бы ради будущихъ несомнѣнныхъ преимуществъ пути безъ зазора, было бы неосторожно.

Пользуясь расчетомъ, приведеннымъ въ № 38 „Жел.-дор. Дѣла“ за 1901 г., данными, выяснившимися на Съѣздѣ по вопросу о мѣропріятіяхъ для распространенія примѣненія желѣза въ Россіи, и данными брошюры Пресса (Шпалы на русск. ж. д. 1900 г.) и при срокѣ службы деревянной шпалы 4 года (непротитанной) и стоимости ея въ 1 р., при $B = \frac{B_1}{2}$ и $B_1 = \frac{A_1}{10}$, можно написать, что стоимость металлической шпалы составитъ $1,00 \times 4,45 = 4$ руб. 45 к.; а это, при вѣсѣ ея $= 75 \text{ kg.} = 4,5$ пудовъ, дастъ стоимость пуда $\frac{4,45}{4,5} = 1$ руб.,—цѣна, за которую едва ли возможно имѣть въ близкомъ будущемъ желѣзную шпалу.

Желѣзо-бетонная шпала, въ противоположность желѣзной, имѣетъ существенный недостатокъ—ея неиспытанность. Не можетъ быть, однако, никакихъ сомнѣній въ томъ, что, при извѣстныхъ размѣрахъ сѣченія желѣзо-бетонной шпалы и надлежащимъ образомъ устроенной армировкѣ, ей можетъ быть придана надлежащая прочность.

Долговѣчность ея, зависящая отъ двухъ факторовъ—отъ вліянія атмосферныхъ воздѣйствій и дѣйствія динамической нагрузки, при нормальныхъ условіяхъ достаточно велика; первое подтверждается всѣми извѣстными фактами примѣненія бетона во всѣхъ широтахъ въ устройствѣ солиднѣйшихъ сооружений, не говоря уже о памятникахъ древне-римскаго зодчества, гдѣ суррогатъ цемента—пудцолана, служившая для приготовления растворовъ, и по настоящее время, черезъ

много вѣковъ, являетъ примѣръ долговѣчности. Что касается дѣйствія динамической нагрузки, то разъ она не сопровождается особо сильными ударами, избѣжать которыхъ и есть цѣль устройства сплошного пути, то она, надлежащимъ образомъ учтенная, не можетъ причинить вреда желѣзо-бетонной шпалѣ; но если даже допустить возможность небольшихъ ударовъ, то, какъ это извѣстно, желѣзо-бетонъ, благодаря своей упругости, прекрасно имъ сопротивляется.

Есть, однако, особый родъ усилій, противодѣйствіе которымъ желѣзо-бетонъ, какъ искусственный камень, оказываетъ слабое; это, на примѣръ, въ данномъ случаѣ — удары острой киркой, но, вѣдь, нельзя отрицать, во-первыхъ, что такое воздѣйствіе на шпалу не можетъ и не должно быть допускаемо, а во-вторыхъ, что и деревянная и даже желѣзная шпалы также болѣе или менѣе страдаютъ отъ такихъ ударовъ, если они имѣютъ мѣсто. Затѣмъ вполне возможно производить подбивку хотя бы тяжелыми кирками, но съ деревяннымъ наконечникомъ. Всѣ желѣзо-бетонныя шпалы, того образца, который вы, мм. гг., видите предъ собою, составляетъ 14,8 п., такъ что въ смыслѣ отдачи она представляется въ $3\frac{1}{2}$ раза выгоднѣе желѣзной и почти въ 2,5 раза выгоднѣе деревянной.

Благодаря пустотѣлой формѣ шпалы, укрѣпленіе въ ней коробки, описанной мною раньше, весьма просто и удобно, затѣмъ, благодаря выгодному распредѣленію матеріала, площадь основанія ея больше, чѣмъ у деревянной и металлическихъ принятыхъ образцовъ (30 сантим.), а потому давленіе на балластъ меньше, чѣмъ при деревянной и желѣзной, что также представляетъ несомнѣнное преимущество желѣзо-бетонной шпалы, въ особенности при устройствѣ такого рода пути, гдѣ, по особымъ условіямъ, какъ, на примѣръ, на городскихъ дорогахъ, если онѣ строятся на шпалахъ, желательно уменьшить временную деформацію пути для того, чтобы излишне не разстроивать одежды улицъ, по которымъ проходить путь.

Что касается жесткости движенія по пути, устройству на желѣзо-бетонныхъ шпалахъ, то, во-первыхъ, ощущаемая при этомъ „непокойность“ пути, вообще, во многомъ должна быть приписана неодинаковой жест-

кости самихъ рельсовъ и стыка, и, при уничтоженіи этой разницы, не будетъ, по всѣмъ вѣроятіямъ, ощущаемъ и результатъ этой разницы, и, наконецъ, не меньшую жесткость даютъ металлическія шпалы; вѣтъ причинъ къ тому, чтобы не устроить между рельсомъ и металлической подкладкой, если въ послѣдней окажется надобность, упругой прокладки, почти совершенно уничтожающей жесткость поверхностей соприкосновенія; такія прокладки примѣняются съ успѣхомъ на городскихъ желѣзныхъ дорогахъ, устраиваемыхъ на бетонномъ основаніи. Матеріаломъ для нея можетъ служить пропитанная древесно-бумажная масса, войлочный толъ, азбестъ и т. п. Возможны, конечно, и другія конструкціи, и ближайшій опытъ укажетъ въ этомъ отношеніи на лучшую.

Затѣмъ, что касается стоимости желѣзо-бетонной шпалы, то, исходя изъ приведеннаго выше разчета, сдѣланнаго для желѣзной шпалы, полагая, что срокъ службы бетонной шпалы не менѣе, чѣмъ желѣзной, т. е. около 28-ми лѣтъ, хотя на самомъ дѣлѣ онъ можетъ быть гораздо болѣе, получимъ стоимость желѣзо-бетонной шпалы, соотвѣтствующую по стоимости деревянной шпалѣ въ 1 р. (непропитанной), при всѣхъ ея въ 15 пуд. $\frac{4,45}{15} = 29,7$ коп. за пуд.; очевидно, за такую цѣну можно имѣть желѣзо-бетонную шпалу, и при производствѣ желѣзо-бетонныхъ шпалъ фабричнымъ способомъ цѣна ихъ можетъ быть доведена до 3 р. 50—3 р. 75 коп. за штуку.

Не надо, однако, при этомъ забывать, что сравниваемая деревянная шпала совершенно непригодна къ устройству сплошного пути, а если бы попытаться устроить пригодную для этой цѣли деревянную шпалу, то стоимость ея возрасла бы весьма значительно.

Что касается разчета желѣзо-бетонной шпалы, то слѣдуетъ принять, что наиболѣе вѣрнымъ способомъ въ этомъ случаѣ будетъ расчетъ сравнительный съ шпалами желѣзной и деревянной, принятыхъ образцовъ, прочность которыхъ, какъ уже испытанная, можетъ считаться вѣдъ сомнѣній.

Если обозначимъ черезъ $M_{\max}$ — наибольшій дѣйствующій моментъ на шпалу, при извѣстной нагрузкѣ

на ось и данному типу рельса, а через W , W_1 и W_2 —моменты сопротивлений деревянной, железной и железобетонной шпалы и через S , S_1 и S_2 —прочное сопротивление их же, то для того, чтобы прочность этих шпал на изгиб была одинакова, необходимо, чтобы:

$$M_{\max} = WS = W_1S_1 = W_2S_2.$$

Обращаясь к выбору деревянных шпал разных типов имеем:

Бельгийская дорога $W = 512 \text{ см}^3$, $S = 86 \text{ кг/см}^2$

Французск. Сѣв. дор. $W = 940 \text{ см}^3$

Paris-Lyon $W = 750$

Франц. Зап. дороги $W = 735$

С.-Пет.-Варшава $W = 848$, $S = 63 \text{ кг/см}^2$

Но так как тип рельса, нагрузка на ось, расстояние между шпалами и расстояние между рельсами на только что названных дорогах различны, то непосредственное сравнение этих данных невозможно; выбирая поэтому наиболее близкий нам тип С.-Петербург-Варшавской жел. дор., я считаю все же нужным заметить, что напряжение в 63 кг/см^2 —особенно если принять в расчет, что деревянная шпала, ослабленная зарубками, вбиванием костылей и пролежавшая 3—4 года в пути, и не может иметь той прочности, как вновь изготовленная,—следует, с одной стороны, признать весьма высоким (норма Прусс. Минист. Публ. раб. $S = 60 \text{ кг/см}^2$), а с другой,—так как прочность этих шпал, по крайней мере неповрежденных, сомнению не подвергается,—расчетный результат $M_{\max} = WS = 848 \times 63 = 53424 \text{ кг/см}$ следует считать вполне обеспечивающим прочность всякого другого типа шпал.

Для металлических шпал те же таблицы дают:

$W = 28,28$ для прусских дорог.

$W_1 = 26,8$ „ ганноверских „

$W_2 = 38$ „ австрийских „

Выбирая средний тип, а именно прусский образец, и принимая $S_1 = 1700$ (как в ганноверском типе), получим, с другой стороны, $W_1S_1 = 28,28 \times 1700 = 48076$. Здесь следует заметить то же, что было замечено и по отношению к деревянным шпалам, т. е. что тип рельса, ширина колеи, расстояние между

шпалами и нагрузка на ось, принятые за границей, не соответствуют нашим нормальным условиям, но во всяком случае можно считать, что пути Западной Европы едва ли стоят в худших условиях по прочности, чем наши; а потому, принимая выведенную величину $W_1S_1 = M_{\max}$ и для нашего пути, мы будем иметь только полезный запас прочности.

Из сравнений WS и W_1S_1 оказывается, что наибольшая величина соответствует WS (для типа С.-Петербург-Варшавской ж. д.), поэтому мы и примем ее для дальнейшего сравнительного расчета.

$$\text{Итак: } WS = W_2S_2 = 53424. \quad (2)$$

Если принять для бетона (на сжатие) прочное сопротивление в 30 кг/см^2 (допускаемое для мостов в Западной Европе доходит до 35—40 кг.), то все же железобетонная шпала, по простейшим из которых времени, около 2—3 лет, времени критического для деревянной, по простейшим из которых, однако, деревянная шпала еще в большинстве случаев не сгибается, будет, очевидно, в лучших условиях прочности, чем эта последняя, если даже не принимать в расчет уменьшения прочности деревянной шпалы от зарубки и вбивания и вытаскивания из нее костылей.

$$\text{Из выражения (2) при } S_2 = 30 \text{ следует } W_2 = \frac{53424}{30} = 1780.$$

Обращаясь к железобетонной шпале, находящейся перед вами, мм. г., мы имеем (фиг. 4):

$$\text{Площадь сечения бетона } F_b = 2 \times 5 \times 18 + 2 \times 5 \times 20 = 180 + 100 + 100 = 380 \text{ см}^2$$

$$\text{Площадь сечения железа } F_e = \frac{4\pi D^2}{4} + 4 \frac{\pi D_1^2}{4} = 4 \frac{3,14 \times 1}{4} + 4 \frac{3,14 \times 0,64}{4} = 3,14 + 2 = 5,14 \text{ см}^2.$$

Процентное отношение $\frac{F_e}{F_b} = 1,3\%$ (при этом следует заметить, что, оставляя ту же площадь сечения железа в верхнем и нижнем поясе, гораздо выгоднее, в смысле взаимодействия железа и бетона, распределить железное сечение на большее количество прутьев, здесь же для большей простоты расчетов оставим 4 прута в верхнем и 4 в нижнем поясе).

При составе бетона 1 : 3 по весу и модуль упру-

гости бетона *) = 2.10⁵, а желѣза 2.10⁶, имѣемъ для приведеннаго къ бетону общаго сѣченія:

$$F_s = 180 + 100 + 100 + 31,4 + 20 = 431,4 \text{ см}^2.$$

Статическій моментъ относительно верхняго ребра сѣчен я будетъ:

$$S_b = 180 \times \frac{18}{2} + 100 \times \frac{5}{2} + 100 \times (18 - \frac{5}{2}) + 31,4 \times 3 + 20(18 - 3) = 1620 + 250 + 1550 + 94,2 + 300 = \text{кругло } 3814.$$

Разстояніе отъ нейтральной оси до верхняго ребра:

$$x = \frac{S_b}{F_s} = \frac{3814}{431,4} = \text{кругло } 8,8 \text{ см.}$$

Моментъ инерціи относительно верхняго ребра:

$$I_b = 1620 \times \frac{2}{3} \times 18 + 250 \times \frac{2}{3} \times 5 + \frac{20 \times 5^3}{12} + 20 \times 5(18 - 2,5)^2 + 94,2 \times 3 + 300(18 - 3) = 19440 + 833 + 24233 + 282,6 + 4500 = \text{кругло } 49288.$$

Моментъ инерціи относительно нейтральной оси:

$$I = I_b - F_s x^2 = 49288 - 431(8,8)^2 = 49288 - 33407 = 15881.$$

$$W_2 \text{ minimum} = \frac{15881}{18 - 8,8} = \frac{15881}{9,2} = \text{кругло } 172 \text{ см}^3.$$

Опредѣляя, наоборотъ, изъ выраженія $M_{\max} = 53424 =$

$$= W_2 S_2, \text{ получимъ } S_2 = \frac{53424}{1726} = \text{кругло } 31 \text{ kg/cm}^2 - \text{величина, весьма близкая къ первоначально принятой (30 kg.)}$$

и уже во всякомъ случаѣ внушающая меньше опасній для бетона, чѣмъ $W_1 = 63 \text{ kg.}$ для дерева, по причинамъ, выше объясненнымъ.

Опредѣляя напряженіе для растянутого волокна,

$$\text{получимъ } S_2^1 = \frac{53424}{I_0} = \frac{53424 \times 8,8}{15881} = \text{кругло } 29,6$$

kg/cm²; очевидно, что такое напряженіе допустимо (см.

*) Въ дѣйствительности модуль упругости бетона на изгибъ составляетъ, кажется, около 70.000 kg. См. по этому поводу въ моемъ докладѣ на 3-мъ Всероссийскомъ Съѣздѣ Электротехниковъ «Нѣсколько словъ къ вопросу объ устройствѣ путей городскихъ электрическихъ желѣзныхъ дорогъ»; принятіе для модуля упругости бетона 2.10⁵, очевидно, служитъ въ пользу запаса прочности.

Conciderè и др.); пренебрегая же сопротивленіемъ бетона растягивающимъ усиліямъ и оставляя это сопротивленіе лишь, какъ запасъ прочности, опредѣлимъ напряженіе въ желѣзѣ изъ выраженія:

$$M_{\max} = F_e Z S_e$$

гдѣ F_e есть сѣченіе желѣза въ растянутой части, Z плечо пары внутреннихъ силъ, уравновѣшивающихъ дѣйствующій моментъ, и S_e —напряженіе въ желѣзѣ.

$$M_{\max} = W_2 S_2 = 53424, Z = \text{кругло } \frac{2}{3} x + (18 - x - 3) = \frac{2}{3} \times 8,8 + (18 - 8,8 - 3) = 12,06.$$

$$F_e = 3,14, \text{ тогда } S_e = \frac{53424}{3,14 \times 12,06} = \text{кругло } 1410 \text{ kg/cm}^2, \text{ опять-таки величина значительно меньшая, чѣмъ полученная для ганновской желѣзной шпалы (1720 kg.).}$$

На основаніи вышеприведенныхъ соображеній можно утверждать, что предлагаемый типъ желѣзо-бетонной шпалы будетъ во всякомъ случаѣ не менѣе проченъ (на изгибъ), чѣмъ деревянная шпала С.-Пет.-Варшавской желѣзной дороги.

Необходимо еще проверить прочность шпалы на смятіе подъ рельсомъ. Принимая въ расчетъ только длину поперечныхъ стѣнокъ шпалы въ 11 сант. (соотвѣтственно ширинѣ подошвы рельса), получимъ сѣченіе бетона $F_b = 2 \times 11 \times 5 = 110 \text{ см}^2$, сѣченіе желѣза $F_e = 2 \times 3 \times \frac{\pi D^2}{4} = 2 \times 3 \times \frac{3,14 \times 1}{4} = 4,71 \text{ см}^2$ и приведенное къ бетону общее сѣченіе: $F_s = F_b + 10 F_e = 110 + 10 \times 4,71 = 157,1 \text{ см}^2$. Принимая давленіе рельса на шпалу равнымъ 4000 kg., получимъ напряженіе $S_2 = \frac{4000}{157,1} = 25,5 \text{ kg/cm}^2$, что также вполне допустимо; на самомъ дѣлѣ давленіе рельса передается помощью продольныхъ прутьевъ на длину стѣнки, значительно большую 11 см.

Для повѣрки принятыхъ данныхъ для опредѣленія $M_{\max}$ сдѣланъ нижеслѣдующій расчетъ рельса и шпалы по Циммерманну.

Для желѣзо-бетонной шпалы шириною $a = 30 \text{ см}$ при модуль упругости бетона $E = 200.000$, коэффициентъ грунта подъ шпалой $C = 3$ и при моментѣ инерціи шпалы (приведенномъ) $I = 15881 \text{ см}^4$ получимъ:

$$K = \frac{1}{L} = \sqrt{\frac{Ca}{4 EJ}} = \sqrt{\frac{3 \times 30}{2,10^4 \times 4 \times 15881}} = 0,6091, L = 109,9 \text{ cm.}$$

$$\lambda = k \times \frac{b}{2}, \text{ гдѣ } b \text{ длина шпалы} = 1,25 \text{ с.} = 26,6 \text{ cm.}$$

$$\lambda = 0,0091 \times 13,3 = 1,21 = \text{кругло } 1,20.$$

$$\rho = k \times \frac{l}{2}, \text{ гдѣ } l \text{ расстояние между серединами подошвъ}$$

рельса.

$$\rho = 0,0091 \times \frac{154}{2} = \text{кругло } 0,7.$$

Мѣра жесткости рельса:

$$B = \frac{6EI_p}{l^3} \square$$

гдѣ E модуль упругости, I_p — моментъ инерціи, l — расстояние между серединами опоръ шпалы.

$E = 2.000.000$, I_p (для рельса въ 25,76 фунта въ футѣ (Московско-Казанской дороги) = 956,84 и $l = 80$ сантим.

$$\text{Отсюда получимъ } B = \frac{6 \times 2000000 \times 956,84}{512000} = 22426,$$

т. е. мѣру жесткости шпалы.

$$D = \frac{CaL}{\eta p}, \text{ гдѣ } \eta p \text{ изъ таблицъ Циммерманна.}$$

При $\lambda = 1,2$ и $\rho = 0,7$, $\eta p = 0,8339$

$$D = \frac{3 \times 30 \times 109,9}{0,8339} = 12220.$$

$$\lambda = \frac{B}{D} = \frac{22426}{12220} = 1,835.$$

Если принять, что давление колеса распредѣляется на 4 шпалы, то наибольшій изгибающій моментъ будетъ по срединѣ пролета подъ грузомъ.

$$M_q = \frac{8\gamma + 7}{4\gamma + 10} \times g \times \frac{a}{4} = \frac{8 \times 1,835 + 7}{4 \times 1,835 + 10} \times 7500 \times \frac{80}{4}$$

гдѣ g — давление колеса, a — расстояние между шпалами.

$$M_q = 188250,$$

напряжение въ рельсѣ $\sigma = \frac{M_q}{W}$, гдѣ M_q — дѣйствующій моментъ, W — моментъ сопротивленія равный для рельса въ 25,76 метр., 150,316 см³, тогда $\sigma = \frac{188250}{150,316} = 1275 \text{ kg.}$

Перехожу къ расчету шпалы. Изгибающій моментъ для шпалы подъ рельсомъ:

$$M_p = \frac{P}{2k} (\mu p),$$

$$\text{прогибъ шпалы } y = \frac{kP}{cb} \mu p = 0,21, \eta p = 0,8339.$$

Наибольшее давление на шпалу по Нойманн'у:

$$P = \frac{4\gamma + 1}{8\gamma + 1} G$$

По Schwedler'у $P = \frac{\gamma + 2}{3\gamma + 2} G$ при $\gamma = 1,835.$

$$P = 3975 \text{ kg.}$$

$$P = 3825.$$

Принимаемъ $P = 4000 \text{ kg.}$

Какъ видно отсюда, принятая раньше для проверки шпалы на смятіе нагрузка 4000 kg. отвѣчаетъ вычисленной по Циммерманну $M_p = \frac{4000}{2 \times 0,0091} \times 0,21 = 46154$, величина меньшая, чѣмъ принятая раньше для сравнительнаго расчета желѣзо-бетонной шпалы.

$$y = \frac{0,0091 \times 4000}{3 \times 30} \times 0,8339 = 0,337 \text{ cm} = 3,37 \text{ m/m.}$$

Погруженіе концовъ шпалы въ балласть:

$$ye = \frac{K \times P}{C \times b} (\eta \lambda), \text{ гдѣ } \eta \lambda = 0,8567,$$

$$\text{тогда } ye = \frac{0,0091 \times 4000}{3 \times 30} \times 0,8567 = 0,346 \text{ cm} = 3,46 \text{ m/m,}$$

давление на подошву основанія шпалы подъ концомъ: $p = C \times ye = 3 \times 0,346 = 1,028 \text{ kg/cm}^2.$

Сопоставляя данныя, касающіяся прогиба шпалы и давленія на балласть для деревянной шпалы С.-Пет.-Варш. ж. д., съ вычисленными для желѣзо-бетонной. имѣемъ:

Ш П А Л А.	ye m/m.	p kg/cm.
Деревянная	5,29	1,590
Желѣзо-бетонная	3,46	1,028

Это сопоставленіе говоритъ, очевидно, также въ пользу желѣзо-бетонной шпалы, тѣмъ болѣе, что рельсъ С.-Пет.-Варш. ж. д. вѣситъ 32,49 въ метрѣ, а принятый для расчета желѣзо-бетонной шпалы 25,76, т. е. условіа

работы деревянной шпалы, къ которымъ относятся цифры верхней строки, выгоднѣе, чѣмъ желѣзо-бетонной.

Полагая, что доложеннымъ мною достаточно доказана прочность желѣзо-бетонной шпалы, позволю себѣ еще въ нѣсколькихъ словахъ коснуться примѣненія желѣзо-бетонныхъ опоръ на городскихъ дорогахъ.

Послѣднее время въ Западной Европѣ и отчасти въ Россіи основаніе для городскихъ дорогъ устраивается бетонное; несмотря на всѣ признанныя преимущества этихъ основаній, они имѣютъ одинъ существенный недостатокъ. Недостатокъ этотъ состоитъ въ томъ, что, при устройствѣ городскихъ дорогъ и въ особенности при переустройствѣ конныхъ на электрическія, представляетъ большія неудобства потеря времени, необходимая на отвердѣніе бетоннаго основанія; время это minimum 12—14 дней, въ теченіе котораго не только не можетъ быть допущено пользованіе путями для движенія вагоновъ, но нужно охранить пути и отъ экипажнаго движенія, если не хотятъ рисковать прочностью бетона.

При существующемъ способѣ устройства основанія на мѣстѣ, эти затрудненія неизбежны; если же представить себѣ, что бетонное основаніе подъ пути городскихъ дорогъ, будь это продольные лежни или поперечныя шпалы, заготовлено заранее на заводѣ, выдержано тамъ въ теченіе 3—4 недѣль, то и укладка такихъ лежней или шпалъ пойдетъ гораздо быстрѣе, и пользованіе ими станетъ возможно немедленно послѣ укладки. Типъ такихъ основаній изображенъ на *фиг. 5 и 6* (см. приложение).

При этомъ продольные лежни, изготовленные длиной 4—5 метровъ, по укладкѣ сращиваются способомъ, указаннымъ на *фиг. 6*.

Надо замѣтить, что стоимость такого основанія, вообще, дешевле примѣняемаго сплошнаго бетоннаго основанія.

Нельзя не указать еще на одно существенное преимущество желѣзо-бетонныхъ пустотѣлыхъ опоръ для городскихъ дорогъ; оно заключается въ слѣдующемъ.

Путь, устроенный въ городахъ на сплошномъ бетонѣ или щебеночномъ основаніи, при сооруженіи кана-

лизаціи, водопроводовъ и т. п. подземныхъ работахъ, можетъ быть подкопанъ, а потому при всѣхъ принимаемыхъ противъ этого мѣрахъ предосторожности, всегда возможна вполнѣдствіи, при осѣданіи канавъ, осадка основаній, влекущая за собою дорогія работы и остановку движенія; при примѣненіи же продольныхъ лежней изъ желѣзо-бетонныхъ пустотѣлыхъ опоръ и эта опасность устраняется, такъ какъ подобная опора, какъ балка, надлежаще рассчитанная, легко позволяетъ прокапывать подъ путями канавы въ 1,5—2 м. шириною, достаточныя для прокладки всякаго рода трубъ, не давая прогиба и, слѣдовательно, не вызывая осадки надземныхъ сооружений.

Указаннаго примѣненія предлагаемыхъ мною опоръ для городскихъ дорогъ я коснулся здѣсь лишь вкратцѣ, такъ какъ этотъ вопросъ составляетъ часть моего доклада на 3-мъ Всероссийскомъ съѣздѣ электротехниковъ въ Январѣ 1904 г.

Предсѣдатель (къ докладчику). Позвольте предложить Вамъ нѣсколько вопросовъ.

Въ началѣ засѣданія, я связалъ Вашъ докладъ съ докладомъ *И. Р. Стецевича*, сдѣланнымъ въ Ноябрь 1902 года, по отношенію къ той части, въ которой говорилось по вопросу о сплошныхъ рельсахъ. Но вторая часть Вашего доклада связывается, какъ я и предвидѣлъ, уже не съ этимъ докладомъ *И. Р. Стецевича*, а съ обсуждавшимся на Желѣзномъ Съѣздѣ вопросомъ о примѣненіи желѣзо-бетонныхъ и металлическихъ шпалъ, *И* преслѣдуя цѣль сдѣлать сплошной рельсовой путь безъ зазоровъ въ стыкахъ, Вы изъ всѣхъ родовъ шпалъ выбираете желѣзо-бетонныя, какъ наиболѣе для того пригодныя, причемъ касаетесь недостатковъ шпалъ металлическихъ и деревянныхъ сравнительно съ желѣзо-бетонными. Что касается вопроса о сравненіи недостатковъ шпалъ разныхъ родовъ, то къ нынѣшнему засѣданію онъ не относится, онъ былъ подробно разобранъ на Желѣзномъ Съѣздѣ; въ сегодняшнемъ же засѣданіи его можно назвать второстепеннымъ. Такимъ образомъ, въ своемъ докладѣ Вы связали двѣ бесѣды. На случай принатія сплошнаго пути, которому Вы отдаете предпочтеніе, на основаніи сравненія съ предыдущими

изобрѣтеніями, Вы рекомендуете желѣзо-бетонныя шпалы, и этимъ Вашимъ докладомъ исполняете обѣщаніе, данное Вами на Желѣзномъ Сѣздѣ. Я просилъ тогда, не будетъ ли Вы добры подробнѣе доложить о желѣзо-бетонныхъ шпалахъ, о расчетѣхъ прочности ихъ и т. д.; тогда былъ въ этомъ отношеніи пробѣлъ, и теперь Вы его пополнили. Затѣмъ, относительно сплошного пути очень много говорилось въ засѣданіи прошлаго года; такъ что по этому предмету едва ли можно что-нибудь новое сказать въ настоящее время. Но главнымъ предметомъ сегодняшней бесѣды будетъ эта желѣзо-бетонная шпала (*указываетъ на приготовленную для демонстраціи шпалу*). Относительно нея у меня есть два вопроса. Во-первыхъ, Вы предлагаете какія-то мягкія подкладки подъ рельсы, чтобы не стирались шпалы. Я не совсѣмъ это понялъ.

А. И. Ольденборгеръ. Упругая подкладка эта собственно факультативна— можно обойтись и безъ нея или же употреблять металлическую подкладку, но если примѣнить подкладку упругую, то она имѣетъ два назначенія. Во-первыхъ, ея цѣль — уничтожить ощущаемую жесткость пути, которая наблюдается при движеніи по металлическимъ шпаламъ. Я полагаю, что то-же самое можетъ получиться и при движеніи по этимъ шпаламъ.

Предсѣдатель. Это сомнительно.

А. И. Ольденборгеръ. А вторая цѣль та, чтобы избѣжать стиранія бетона. Подкладка эта упругая, изъ азбеста. Подложенная на образцѣхъ—изъ фибры, но... это чрезвычайно цѣнный матеріалъ. Между тѣмъ, азбестовая подкладка подъ каждый рельсъ, по справкамъ, должна стоить 4½ или 5 копѣекъ.

Предсѣдатель. Такъ что это обязательно, разъ Вы опасаетесь стиранія бетона рельсомъ, что непремѣнно случится современемъ. Насколько будетъ велико это стираніе, этого опыта еще не сказалъ.

А. И. Ольденборгеръ. Да. Но можно предполагать, что бетонъ будетъ больше стираться, чѣмъ желѣзо. Поэтому, чтобы поставить ихъ въ равныя условія, желательно бетонъ какъ-нибудь изолировать.

Предсѣдатель. Это теоретическое предположеніе.

А. И. Ольденборгеръ. Да.

Предсѣдатель. Затѣмъ второе—какъ эту шпалу подбивать? Не будетъ опасности отъ ударовъ?

А. И. Ольденборгеръ. Нѣтъ. Ударовъ тупымъ орудіемъ она не боится. Можно сейчасъ сдѣлать здѣсь опытъ (*Колотитъ по желѣзо-бетонной шпалѣ желѣзнымъ стержнемъ*).

Предсѣдатель. Вы не то дѣлаете: такой игрушкой подбивать не будутъ.

А. И. Ольденборгеръ. Конечно, я знаю, что подбиваютъ киркой, но по шпалѣ ею не бьютъ.

Предсѣдатель. Въ этой подбойкѣ будетъ нѣсколько фунтовъ, и рабочіе изо всей силы бьютъ ею подъ шпалу съ одной ея стороны и съ другой. Если можно охранять шпалу отъ стиранія посредствомъ упругой подкладки, то какъ ее охранить отъ излома при случайныхъ ударахъ желѣзной подбойкой или киркой?

А. И. Ольденборгеръ. Если кирка будетъ тупая?

Предсѣдатель. Какъ въ дѣйствительности. Вы говорили, въ Италіи испытываютъ,— какъ тамъ это дѣлается?

А. И. Ольденборгеръ. Тамъ подбивка производится металлическими кирками, но тупыми, съ плоской головкой, причемъ очень тщательно избѣгаютъ ударовъ по ребру шпалы. Это, конечно, есть нѣкоторый недостатокъ, но какъ и при подбивкѣ всякой шпалы, даже и металлической, при ударѣ по ней киркой, шпала болѣе или менѣе страдаетъ.

Предсѣдатель. Вы сами видѣли, какъ производится тамъ эта подбивка, или читали?

А. И. Ольденборгеръ. Нѣтъ, только читалъ. Я получилъ оттуда описаніе.

Предсѣдатель. На какой это дорогѣ?

А. И. Ольденборгеръ. Въ 12 километрахъ отъ г. Анконы. А теперь предполагается укладка тамъ же на 100 километрахъ.

Предсѣдатель. Это порядочно. Слѣдовательно, если рѣшались производить опыты въ большихъ размѣрахъ, то первый результатъ удовлетворительный.

А. И. Ольденборгеръ. Да.

Предсѣдатель. Въ сообщеніи, которое Вы оттуда получили, есть подробности?

А. И. Ольденборгеръ. Подробностей нѣтъ, потому что приславшее сообщеніе лицо не спеціально изучало это дѣло, а только наводило справки.

Председатель. Это единственное мѣсто, около Анконы, гдѣ уложены желѣзо-бетонныя шпалы?

А. И. Ольденборгеръ. Да. Затѣмъ еще во Франціи производятся опыты съ желѣзо-бетонными шпалами, но результатовъ ихъ я не знаю. Это, кажется, на дорогѣ въ Бордо,—не помню.

Г. О. Гиршонъ. Въ Саксоніи тоже имѣется одинъ километръ пути съ такими шпалами, кажется, около Лейпцига.

И. Н. Ливчака. Такъ какъ здѣсь выражалось опасеніе, что какъ бы киркой не разбить такую шпалу, то я хотѣлъ бы сообщить, что въ апрѣлѣ нынѣшняго года мною представленъ въ Министерство проектъ механическаго способа подбивки шпалъ. Проектъ этотъ былъ рассмотрѣнъ въ комиссіи подъ предсѣдательствомъ инженера Нагеля, и въ теоріи онъ ею одобренъ, такъ что теперь дѣло только въ испытаніи. Этотъ способъ совершенно устраняетъ подбивку ручнымъ способомъ киркой, и суть его заключается въ томъ, что устроено коромысло, качающееся на горизонтальной оси и имѣющее на обоихъ концахъ дуги, и это укрѣпляется на тѣлѣжкѣ, идущей по рельсамъ. Тѣлѣжка устанавливается въ данномъ мѣстѣ надъ шпалами, и это приспособленіе приводится въ движеніе, вродѣ того, какъ пожарную трубу качаютъ. При такомъ приспособленіи совершенно устраняется опасность задѣть шпалу, потому что работа имъ регулируется такъ, что удары идутъ подъ шпалу. Это коромысло передвигается по направленію горизонтальной оси.

Председатель. Это было гдѣ-нибудь испытано?

И. Н. Ливчака. Нѣтъ, новъ принципъ одобренъ комиссіей. Предполагалось было испытать этотъ способъ на казенный счетъ лѣтомъ на Варшавской или Балтійской дорогахъ, но, къ сожалѣнію, дѣло заглохло.

Председатель. Вы можете дать намъ описаніе этого способа и чертежъ?

И. Н. Ливчака. Да, чертежи у меня имѣются. Я заявилъ привилегію.

Председатель. Но въ Италіи, вѣроятно, какъ-нибудь иначе дѣлается?

А. И. Ольденборгеръ. Ручнымъ способомъ, и остаются довольны. Тамъ балластъ—крупный гравій.

Н. А. Житковичъ. Съ своей стороны, я могу сказать, что вопросъ, поднятый въ настоящемъ докладѣ, представляетъ высокій интересъ, доказательствомъ чего служить то, что въ Америкѣ съ 1890 года вопросъ о желѣзо-бетонныхъ шпалахъ выступилъ на сцену, и тамъ сдѣланы въ значительныхъ размѣрахъ испытанія въ этомъ отношеніи. Я позволю себѣ только дополнить сообщеніе докладчика указаніемъ на нѣкоторые типы шпалъ и на тѣ данныя, которыя получены практикой.

Одинъ изъ первоначальныхъ типовъ шпалъ естественно приближался къ типу деревянныхъ шпалъ. Это была сплошная шпала, въ которой рельсы закрѣплялись почти такимъ же самымъ костылемъ, какъ въ деревянныхъ шпалахъ. Для этого въ шпалѣ были сдѣланы соответственные отверстия, которыя образовывались вставкою газовыхъ трубъ, опускавшихся во всю толщину при формовкѣ трубы. Въ трубы вставлялись деревянные нагеля, и прикрѣпленіе къ рельсу сводилось къ тому же способу, какъ и при обыкновенныхъ деревянныхъ шпалахъ. Эта система применена въ 1890 году на одной изъ Мичиганскихъ желѣзныхъ дорогъ. Затѣмъ, постепенно началось совершенствованіе, и тотъ типъ, о которомъ говорилъ докладчикъ, типъ итальянскій, примененный на Адриатической желѣзной дорогѣ, является наиболѣе совершеннымъ. Въ немъ поперечное сѣченіе шпалы сводится къ слѣдующему (*Рисуется на доскѣ*). Шпала подъ рельсами уширяется во всю среднюю ширину, такъ что имѣются такіе прибавки для увеличенія площади соприкасанія шпалы съ рельсомъ. Затѣмъ армировка помощью желѣза сдѣлана посредствомъ 28 прутьевъ. Они расположены такимъ образомъ: гдѣ наибольшія растягивающія усилія, тамъ расположены прутья въ два ряда. Далѣе они идутъ вверхъ въ формѣ Т-образной. Такія шпалы уложены въ 1899 году. Слѣдовательно, онѣ 4 года въ работѣ, и опытъ оказался вполне удачный. Насколько теперь увеличенъ участокъ, я не знаю. Возбужденный вопросъ о подбивкѣ устраняется тѣмъ, что масса шпалъ тутъ сплошная; здѣсь нѣтъ тонко-стѣйности, которая можетъ быть проломлена. Слѣдовательно, разъ ударъ послѣдуетъ, мѣстами отколъ произойдетъ, то прочность шпалы мало пострадаетъ.

Председатель. Какой размѣръ и вѣсъ шпаль?

Н. А. Житковичъ. Длина шпалы 85 дюймовъ. Поперечные размѣры точно мнѣ неизвѣстно. Затѣмъ, составъ бетона слѣдующій. При всемъ вѣсѣ бетона 268 англійскихъ фунтовъ цемента 20 фунтовъ, остальное песокъ, а желѣза около 88 англ. ф.

О. А. Струве. А цѣна этой шпалы?

Н. А. Житковичъ. 3 доллара или, примѣрно, 6 рублей, а деревянная шпала этихъ же размѣровъ обходится 1,7 доллара. Затѣмъ въ Америкѣ появилось еще нѣсколько типовъ болѣе поздняго происхожденія. Одинъ изъ этихъ типовъ слѣдующій. Я покажу здѣсь тотъ типъ, который предлагался для германскихъ электрическихъ желѣзныхъ дорогъ. Онъ состоитъ въ томъ, что дѣлается основаніе изъ болѣе прочнаго бетона, затѣмъ укладываются шпалы короткія изъ болѣе прочнаго бетона, укладываются подкладки, 18-дюймовыя, деревянные, дубовыя, на которыхъ укрѣпляются рельсы, укладываемые въ уровень съ мостовой. Поэтому связи тутъ нѣтъ никакой, они сидятъ на тѣпяхъ.

Этотъ типъ для желѣзнодорожнаго пути не годится, потому что рельсы ничѣмъ не связаны. Поэтому явилась переходная форма такая. Желѣзо-бетонная шпала имѣетъ слѣдующія части: желѣзная полоса идетъ поверху, вторая полоса подхватываетъ ее снизу и идетъ такъ. Въ планѣ эти полосы имѣютъ 4 отверстія, черезъ которыя пропускаются гвозди, прибывающіе полосы къ дубовымъ подушкамъ. Такъ что тутъ выдержанъ предыдущій типъ, имѣются подкладки, и все это отрамбовано бетономъ. Конечно, конструкцію эту нельзя одобрить: здѣсь сочетаніе дерева съ бетономъ не удовлетворяетъ условіямъ долговѣчности. Затѣмъ появилось еще нѣсколько типовъ, но всѣ они, въ сущности, сводятся къ этому же. Последній типъ, который, кажется, получилъ наибольшее примѣненіе, состоитъ въ слѣдующемъ. Пользуются старыми рельсами, берутъ рельсъ, обращаютъ его головкой книзу, и затѣмъ помощью фигурныхъ накладокъ, прикрѣпляютъ къ нему желѣзную полосу. Потомъ вся эта масса отрамбовывается бетономъ. Эти приклейки сдѣланы для того, чтобы развить поверхность соприкасання желѣза съ бетономъ. Такой типъ введенъ, цѣлый участокъ сдѣланъ на прямыхъ и

кривыхъ, четыре года производится испытанія, и результаты прекрасныя. Это типъ системы Вюрера, примѣненный въ С. Америкѣ, въ Мичиганѣ. Скорость 60—70 миль въ часъ, или 100 слишкомъ верстъ, эта линія выдерживается прекрасно. Балластъ — щебень. И при такихъ условіяхъ это вполне необходимо, потому что жесткость здѣсь громадная. Затѣмъ, насколько мнѣ извѣстно, на Закаспійской желѣзной дорогѣ этотъ вопросъ долженъ получить большое значеніе, потому что тамъ термиты уничтожаютъ дерево. Аналогичная дорога есть въ Индо-Китаѣ, гдѣ уложено миллионъ желѣзо-бетонныхъ шпалъ. Типъ шпалы приближается тамъ къ такой формѣ (*рисуетъ на доскѣ*), Т-образной.

А. Л. Васютинскій. Я хотѣлъ замѣтить, что однимъ изъ самыхъ крупныхъ недостатковъ этой шпалы является тотъ способъ скрѣпленія рельса со шпалой, который предлагаетъ докладчикъ. Шпала эта, вѣдь, внутри пустая. Здѣсь имѣется извѣстной толщины стѣнка. Въ желѣзныхъ шпалахъ скрѣпленіе съ рельсомъ достигается такимъ образомъ, что тамъ имѣются нѣкоторыя лапки; эти лапки входятъ въ шпалу, упираются въ нее и передаютъ боковое давленіе отъ рельса шпалѣ. Связью между первой и второю частью доклада, какъ мы слышали, служитъ то обстоятельство, что докладчикъ предполагаетъ, что разницу въ длинѣ рельсовъ, происшедшую отъ вліянія температуры, можно компенсировать тѣмъ, что въ кривыхъ рельсовая колея будетъ подаваться наружу. Слѣдовательно, онъ полагаетъ достигнуть прикрѣпленія рельса къ шпалѣ при помощи накладокъ, которыя бы удерживали рельсъ на шпалѣ исключительно только посредствомъ тренія между шпалой и лапкою. Но объ этомъ не можетъ быть и рѣчи. Дѣло въ томъ, что въ шпалахъ желѣзныхъ однимъ изъ главныхъ недостатковъ ихъ является то обстоятельство, что эти лапки, упираясь въ стѣнки шпалы, въ этихъ отверстіяхъ производятъ смятія или трещины, которыя влекутъ за собою разрушеніе шпалы. Вотъ въ желѣзной шпалѣ это представляется такимъ образомъ. Эта лапка входитъ здѣсь въ отверстіе (*рисуетъ на доскѣ*). Тутъ имѣется вкладышъ, — вотъ такое утолщеніе лапки. А здѣсь проходитъ болтъ, который поворачивается, какъ показывалъ докладчикъ. Слѣдовательно,

тотъ рельсъ, который здѣсь имѣется, упирается въ лапку, а не въ болтъ. Затѣмъ лапка передаетъ давленіе этой стѣнкѣ шпалы. Въ шпалѣ имѣется отверстіе съ нѣкоторымъ запасомъ для того, чтобы можно было просунуть болтъ. Такимъ образомъ, это отверстіе имѣетъ опредѣленный размѣръ только въ зависимости отъ того вида, какой имѣетъ болтъ, для того, чтобы онъ прошёлъ черезъ отверстіе. Но никогда не предполагается, чтобы эта лапка могла не упираться въ шпалу: она всегда должна въ нее упираться, потому что здѣсь боковыя усилія очень сильно дѣйствуютъ на стѣнку, и этого избѣжать нельзя. Здѣсь можно достигнуть уширенія пути, какъ при металлическихъ шпалахъ, именно примѣняя лапки шириною и толщиною этого вкладыша. Но такъ соединить рельсъ со шпалой, чтобы эта накладка или лапка упиралась въ шпалу совершенно прочно и удерживала рельсъ, представляется невозможнымъ, потому что однимъ треніемъ это не будетъ держаться. Вотъ, при такихъ обстоятельствахъ въ шпалѣ металлической, когда проектируется это отверстіе, всегда получаютъ въ этихъ мѣстахъ такіа трещины. Это отверстіе получаетъ неправильный видъ, оно разрабатывается. Все это происходитъ отъ того, что на шпалу въ этомъ мѣстѣ, вслѣдствіе бокового давленія рельса, дѣйствуютъ необыкновенно большія усилія. Слѣдовательно, тутъ необходимы весьма прочныя соединенія, а о такомъ соединеніи, чтобы лапка держала однимъ треніемъ, не можетъ быть и рѣчи. Если же устроить такъ, какъ тамъ показано, то оказывается, что этой передвижки, какъ предполагаетъ докладчикъ, сдѣлать нельзя. Нужно, чтобы эта лапка упиралась въ боковую стѣнку желѣзо-бетонной шпалы, а для этого бетонъ самый непригодный матеріалъ, если шпала должна лежать въ пути 25 лѣтъ. Желѣзные шпалы, предполагаютъ, единственно потому не выдерживаютъ этого срока, что эти отверстія разрабатываются черезъ 15 лѣтъ. Если металлическую шпалу для этого нужно утолщать, увеличивать толщину крышки, чтобы достигнуть большаго сопротивленія въ мѣстахъ прикасанія лапки къ этому отверстию, то что же будетъ съ бетонною шпалой? Очевидно, бетонъ будетъ такъ истираться въ этомъ мѣстѣ, что такой способъ скрѣпленія въ этомъ мѣстѣ будетъ невозмо-

женъ. Соединеніе тѣмъ способомъ, какъ показывалъ докладчикъ, точно также не ведетъ къ дѣлу, потому что прямые удары колесъ будутъ имѣть послѣдствіемъ скольженіе рельса по поверхности шпалы. Поэтому, здѣсь нужно придумать что-нибудь другое, а такое соединеніе, какъ показалъ докладчикъ, невозможно. Нужно сказать, что соединеніе рельса со шпалой при бетонныхъ шпалахъ особенно затруднительно. Если не устроить его такъ, какъ было только-что показано, т.е. при помощи обыкновеннаго соединенія кстылями или хотя бы шурупами въ деревянный нагель, то другого соединенія я пока не могу указать; это сравнительно было бы гораздо лучше. Если бы втулки были сдѣланы изъ особенно твердаго, сопротивляющагося матеріала, и если бы эти втулки можно было перемѣнять, то это былъ бы еще болѣе подходящий способъ соединенія. Имѣетъ съ тѣмъ, мнѣ кажется, что тутъ однимъ изъ крупныхъ недостатковъ бетонной шпалы, помимо возможности откола киркой, были бы значительныя напряжения, которые получаются въ бетонѣ. Видѣ, такіа напряжения, какъ здѣсь показаны докладчикомъ, 30 клгр. на кв. см., т.е. на растяженіе...

А. И. Ольденборгеръ. Нѣтъ, на растяженіе нѣсколько меньше: 28 клгр.

А. Л. Васютинскій. Во всякомъ случаѣ, это такіа напряжения, которые повлекутъ за собою трещины. А если въ бетонѣ образуются трещины, то послѣдствіемъ этого будетъ постепенное разрушеніе шпалы.

А. И. Ольденборгеръ. Что касается вопроса о закрѣпленіи рельса на шпалѣ, то я не смѣю спорить о томъ, какъ это дѣлается при желѣзныхъ шпалахъ, но мнѣ кажется, что возможно устроить такъ, чтобы рельсы держались исключительно треніемъ. Если допустить, что нагрузка на рельсъ 4000 клгр., и что боковыя усилія могутъ составить даже 30 %, т.е. 1200 клгр., то, раздѣливъ это на два болта, получимъ по 600 клгр. на болтъ. Это усиліе вовсе не такое сверхъестественное, чтобы его нельзя было достичь. А затѣмъ, какую поверхность придать накладкѣ,—это другой вопросъ. Можетъ быть, эти накладки пришлось бы расширить для того, чтобы увеличить поверхность соприкасания шпалы съ накладкой и уменьшить стираніе самой шпалы.

Но я убежденъ въ томъ, что это удерживаніе рельса на поверхности однимъ треніемъ практически выполнимо. Подробный расчетъ, подтверждающій выполнимость такого прикрѣпленія, я приложу къ докладу (см. стр. 130 *сего выпуска*), равно какъ и соображенія о вліяніи измѣненій температуры на такое прикрѣпленіе. Обращаю еще вниманіе на то обстоятельство, что упругая подкладка проектирована *только* подъ рельсомъ, а не подъ накладкой, прикрѣпляющей рельсъ къ шпаламъ, а потому *скажіе* упругой подкладки подъ рельсомъ при проходѣ колеса не влечетъ за собою *ослабленія натяженія въ болтъ* и не уменьшаетъ нормальнаго давленія между накладкой и шпалой и, слѣдовательно, сопротивленія сдвигу накладки.

Что касается соображеній о напряженіяхъ въ бетонѣ, то я говорилъ, что напряженія въ бетонѣ не засчитываются въ пользу работы шпалы, а считается единственно только сопротивленіе желѣза въ растянутахъ поясѣ. Но что въ желѣзо-бетонѣ бетонъ выдерживаетъ напряженіе до 100 клгр., это подтверждено опытами Консидера. Такъ что напряженіе въ 28 клгр. никакой опасности для бетона не представляетъ, и никакихъ трещинъ въ немъ не можетъ получиться отъ этого.

Н. А. Житковичъ. Я относительно того же вопроса скажу, что подкладка должна смягчать удары, слѣдовательно, она должна сдавать, должна быть упругой, — если при этомъ подкладка и ведется расчетъ натяженія болтовъ, то въ критическій моментъ, когда отъ ударовъ подкладка сдаться, болтъ освобождается. При такихъ болтахъ вопросъ о расширеніи желѣза возникаетъ. Разъ болтъ нагрѣвается и удлиняется, то онъ требуетъ подвинчиванія. Но какъ на такомъ пути, гдѣ рельсъ скрѣпленъ двумя болтами, сразу подвинтите всѣ болты?

Предсѣдатель. Мнѣ кажется, изъ доклада и бесѣды вытекаютъ два вопроса, имѣющіе наибольшую важность. Первый изъ нихъ тотъ, что на опытахъ до сихъ поръ были только сплошныя шпалы желѣзо-бетонныя. Докладчикъ же предполагаетъ пустотѣлую шпалу. Отъ этого можетъ произойти нѣкоторое измѣненіе въ укрѣпленіи рельсовъ. Можетъ быть, будетъ и выгода въ употребленіи пустотѣлой. Затѣмъ, второй вопросъ, коренной въ докладѣ — это примѣненіе желѣзо-бетонныхъ шпалъ къ сплошному пути, т. е. съ уничтоженіемъ за-

зоровъ. Насколько въ дѣйствительности эта цѣль можетъ быть достигнута? Въ отношеніи второй цѣли здѣсь были высказаны сомнѣнія въ возможности ея достиженія. Но сомнѣнія всетаки ограничивались только разсмотрѣніемъ способа устройства укрѣпленія рельса на шпалѣ. Способъ, конечно, можетъ быть усовершенствованъ. Вы не абсолютно предлагаете, то что здѣсь представлено?

А. И. Ольденборгеръ. Нѣтъ, нѣтъ. Въ данный моментъ онъ казался лучшимъ, но слегка измѣнить его не представляетъ труда, оставляется неизмѣненнымъ только принципъ подвижнаго скрѣпленія.

Предсѣдатель. Практика лучше всего научить.

А. И. Ольденборгеръ. Да, практика должна рѣшить, какой способъ будетъ наилучшій.

Предсѣдатель. На Желѣзномъ Съѣздѣ относительно этой шпалы было постановлено о желательности подвергнуть ее испытанію наравнѣ съ металлическими шпалами, по представленію подробныхъ расчетовъ. Эти расчеты сегодня представлены и, конечно, могли бы быть присоединены къ трудамъ Желѣзнаго Съѣзда. Въ отношеніи сравненія пустотѣлыхъ шпалъ со сплошными шпалами на Съѣздѣ, кажется, разговоръ тоже былъ. Но ничего не было постановлено, кромѣ какъ объ испытаніи. Этотъ новый вопросъ вытекаетъ и изъ сегодняшней бесѣды. До сихъ поръ испытывались только сплошныя шпалы, а теперь предлагаютъ и пустотѣлыя. Не будете ли такъ добры высказаться, по сравненію съ этой пустотѣлой формой этихъ шпалъ, за какою шпалю слѣдуетъ признать преимущество: за сплошною или пустотѣлою? Пустотѣлыя шпалы предлагаются послѣ того, какъ были сдѣланы опыты со сплошными шпалами. Всегда можно считать позднѣйшее предложеніе усовершенствованіемъ предшествовавшаго. Казалось бы, что пустотѣлыя шпалы могутъ, если не болѣе, то и не менѣе правильно служить, чѣмъ сплошныя.

А. И. Ольденборгеръ. Главныя соображенія, почему я остановился на пустотѣлой формѣ, суть соображенія экономическія, потому что превратить данную пустотѣлую шпалу въ массивную не представляетъ затрудненій. Если оставить эти коробки и затѣмъ заполнить тощимъ бетономъ, то это будетъ просто и не будетъ слишкомъ дорого, потому что на это пойдетъ бетонъ

другого состава, но зато получится громадная тяжесть. Пустотѣлая шпала сама вѣситъ 15 пудовъ, а если заполнить ее, то въ ней будетъ 25 пудовъ.

Председатель. Но тѣ сплошныя шпалы были легче.

А. И. Ольденборгеръ. Но при томъ громадномъ количествѣ желѣза, которое въ нихъ входитъ, стоимость ихъ слишкомъ высока, такъ что экономически онѣ не могли бы выдержать конкуренціи съ желѣзными и деревянными шпалами. Моя задача состояла въ томъ, чтобы стремиться къ созданію не только технически хорошаго типа, но и экономически возможнаго. Второй причиной къ проектированію пустотѣлой шпалы былъ и способъ скрѣпленія. Скрѣпленіе будетъ устроено такъ или иначе при пустотѣ шпалы внутри, куда можно впустить головку болта. Все таки этотъ способъ устройства скрѣпленія представляетъ несомнѣнный удобства, если примѣнить эту шпалу для тѣхъ цѣлей, какъ я говорилъ, когда необходимо движеніе болта. Если болтъ совершенно закрѣпленъ, то это безразлично; но когда болтъ долженъ передвигаться, пустота должна давать возможность этого передвиженія. Разумѣется, если шпалу совершенно заполнить бетономъ, то она будетъ прочнѣй, но практическія неудобства, слишкомъ большой вѣсъ и высокая стоимость, говорятъ не въ пользу такой шпалы, а такъ какъ расчетомъ прочность предлагаемой мною пустотѣлой шпалы доказана, то я совершенно не вижу надобности и съ этой точки зрѣнія заполнять ея внутреннюю пустоту.

Н. А. Житковичъ. Въ заграничныхъ типахъ, въ видахъ облегченія и удешевленія шпалъ, дѣлаютъ шпалу короче, такъ что она собственно равняется $1\frac{1}{4}$ ширины колеи. Поэтому, рельсы укладываются очень близко у торцевъ, въ 20 см., чтобы только можно было ихъ закрѣпить. Опасное сѣченіе должно получиться по серединѣ.

А. И. Ольденборгеръ. Я дѣлалъ сравнительные расчеты, и оказалось, что это было гораздо невыгоднѣе, потому что наибольшій моментъ получался въ серединѣ шпалы, и приходилось армировать проволокой 12 мм. толщины, вмѣсто 8 мм. Это увеличеніе вѣса проволоки съ избыткомъ покрывало стоимость бетона.

Председатель. Такъ что можно сказать, что желательнѣе испытывать не только пустотѣлая, но и сплош-

ныя. Какой изъ существующихъ типовъ Вы бы предложили, какъ наилучшій типъ сплошныхъ шпалъ желѣзо-бетонныхъ?

Н. А. Житковичъ. По самой сути дѣла чрезвычайно важнымъ является слѣдующій вопросъ. Такъ какъ шпала подвержена большимъ сотрасеніямъ и ударамъ, матеріалы, желѣзо и цементъ, совершенно разнородные, и связь между ними основана только на силѣ сдѣвленія наружной поверхности желѣзныхъ прутьевъ, то первое необходимое условіе это то, чтобы наружная площадь связи желѣза съ цементомъ была возможно больше. Во вторыхъ, трамбовка, фабрикація и т. д. пустотѣлой шпалы, конечно, сложнѣе, чѣмъ сплошной шпалы. При сплошной же шпалѣ загонка костью болѣе возможна. Наконецъ, самая трамбовка можетъ быть достигнута лучше и совершеннѣе при шпалѣ сплошной, чѣмъ пустотѣлой; точно такъ же и самая формовка, приготовленіе шпалъ. Второе соображеніе то, что при тонкихъ стѣнкахъ въ 5 см. о щебнѣ и гравіи не можетъ быть и рѣчи, потому что при толщинѣ стѣнки въ 5 см. нужно, чтобы зерно составляло не болѣе $\frac{1}{6}$ или $\frac{1}{7}$ толщины стѣнки, въ практическихъ видахъ, чтобы не было пустотъ. Если же взять шпалу сплошную, то тамъ размѣръ щебенки и гравія можно увеличить. Слѣдовательно, получится та выгода, что самый матеріалъ будетъ дешевле. Фабрикація сплошной шпалы безусловно проще: нужно только изъ 4-хъ досокъ сдѣлать форму и трамбовать. Кромѣ того, бетонъ, когда онъ трамбуется въ сплошной массѣ, можетъ быть уплотненъ больше, чѣмъ когда дѣлается пустотѣлая шпала. А это имѣетъ вліяніе на качество бетона.

А. И. Ольденборгеръ. Я хотѣлъ сказать, что самая фабрикація балки не представитъ никакихъ затрудненій и при такой формѣ. Трамбовка бетона въ большихъ толщахъ никогда не производится. 2 $\frac{1}{2}$ вершка это такая толща, выше которой при бетонѣ, состоящемъ изъ песка и цемента, и не идутъ, а при щебнѣ можно брать и выше. Слѣдовательно, трамбовать шпалу полной высоты, такую массивную, за одинъ разъ было бы невыгодно. А тутъ нижняя часть можетъ быть вытрамбована хорошо и затѣмъ вложенъ сердечникъ, который не представляетъ ничего особенно сложнаго...

Стоимость же производства такихъ балокъ будетъ дешевле вотъ почему. Примѣшивая щебень къ бетону, мы получаемъ совершенно другія отношенія модуля упругости, а также другія качества бетона. Сейчасъ я не могу этого въ точности разсчитать, но думаю, что это поведетъ къ значительному увеличенію вѣса, что тоже было бы неудобно; увеличивать вѣсъ больше 15 пудовъ едва ли нужно. Затѣмъ относительно фабрикаціи я скажу, что машинная фабрикація возможна при такой системѣ. Конечно, и при массивныхъ балкахъ она тоже возможна. Но тутъ она будетъ значительно дешевле, потому что машинная отдѣлка боковыхъ поверхностей гораздо дешевле обойдется, чѣмъ въ ручную; точно такъ же и отдѣлка внутренней поверхности. Это вопросъ собственно экономическій, который разрѣшается прямо сравненіемъ цѣнъ. А относительно прочности бетона я думаю, что бетонъ при толщѣ стѣнокъ въ 5 см. можетъ быть вытрамбованъ не хуже, а лучше, чѣмъ при толщѣ въ 4 вершка.

О. А. Струве. Какъ шпала формируется: горизонтально или вертикально?

А. И. Ольденбургъ. Горизонтально.

Предсѣдатель. Здѣсь говорилось, что усиленіе бетона желѣзомъ, расположеннымъ соответственнымъ образомъ, даетъ удивительные результаты. Я хотѣлъ бы спросить относительно сопротивленія бетона ударамъ при подбивкѣ пути: можетъ ли желѣзо усилить этотъ бетонъ въ значительной степени въ смыслѣ сопротивленія его ударамъ при подбивкѣ пути?

Н. А. Житкевичъ. Безусловно, потому что всякій ударъ вызываетъ трещины. Распространеніе трещинъ будетъ меньше. Такъ какъ расчетъ ведется на желѣзобетонъ, разъ трещина образуется, то по этой трещинѣ сырость начнетъ добираться до желѣза, которое будетъ ржавѣть, увеличиваться въ объемѣ и выпретъ ту часть бетона, которая прикрываетъ его снаружи. Такъ что тутъ трещины опасны. Но распространеніе трещинъ будетъ меньше при желѣзѣ, чѣмъ если бы бетонъ былъ безъ желѣза.

Предсѣдатель. Можетъ быть, и трещины труднѣе образуются?

П. И. Соколовъ. Какой предѣлъ прогиба бетонной шпалы?

Н. А. Житкевичъ. Это трудно сказать. Коэффициентъ упругости очень мѣняется. Если позволите, я сдѣлаю объ этомъ особый докладъ.

Предсѣдатель. Мы будемъ этому очень рады.

Н. А. Житкевичъ. Если этотъ вопросъ интересуетъ Отдѣлъ, то я могу подробнѣе доложить.

О. А. Струве. Примѣнялись ли эти шпалы въ странахъ, гдѣ были сильные морозы?

С. Г. Вейнбергъ. Эти шпалы уложены въ мѣстности гдѣ морозы доходятъ до 20—25°Р.

Предсѣдатель. Для меня остается невыясненнымъ одинъ вопросъ. Вы сообщили, что если дѣлать сплошной путь, то нужно имѣть въ виду подвижность колеи въ стороны. Но нельзя допустить этой подвижности, не нарушая прочности самого пути. Такъ, этотъ вопросъ Вы оставляете до разрѣшенія въ дальнѣйшемъ или теперь можете объяснить какъ это сдѣлать?

А. И. Ольденбургъ. Нѣтъ, сейчасъ, какъ уже раньше сказалъ, я не нахожу удобнымъ, такъ какъ нѣтъ подъ рукою никакихъ точныхъ данныхъ. Я долженъ сдѣлать расчетъ, прежде чѣмъ отвѣтить на это. Это я въ дополненіе представлю*).

Г. А. Гуризонъ. Пустотѣлая шпала, казалось бы, менѣе благопріятна въ отношеніи ея сопротивляемости ударамъ. Полагаю, что сплошная шпала, т. е. шпала съ сплошнымъ сѣченіемъ, была бы рациональнѣе въ томъ отношеніи, что при таковой можно скрѣпить шпалу съ рельсомъ при посредствѣ дерева. Въ верхнемъ строеніи, съ наиболѣе совершеннымъ скрѣпленіемъ рельсовъ со шпалами посредствомъ стѣлѣвъ, прибѣгаютъ къ деревяннымъ клиньямъ, которые своею упругостью сопротивляются вредному дѣйствію ударовъ подвижного состава на верхнее строеніе. Мнѣ кажется, что и здѣсь нужно въ скрѣпленіи между рельсомъ и бетономъ непременно ввести дерево, что легче сдѣлать при сплошной шпалѣ, чѣмъ при пустотѣлой. Деревянные втулки Колле, которыя испытываются на нѣкоторыхъ желѣзныхъ дорогахъ въ Россіи, могли бы и здѣсь найти себѣ очень полезное примѣненіе, втулки, въ которыя вбиваютъ костыли или ввинчиваютъ шурупы.

*) См. ниже стр. 39.

Г. О. Графтіо. Я хотѣлъ бы сказать относительно сдѣланнаго здѣсь указанія на трудность производства полыхъ шпалъ. Сравнительно недавно во Франціи были сдѣланы цѣлый рядъ столбовъ для подвѣски проводовъ съ деревяннымъ сердечникомъ и съ наружной цилиндрической оболочкой изъ жѣлѣзо-бетона. Они испытывались и дали хорошіе результаты. Такъ что едва ли представится затрудненіе въ изготовленіи полыхъ шпалъ. А при томъ же всѣхъ, размѣръ шпалы, въ отношеніи длины, во всякомъ случаѣ можно сдѣлать больше, чѣмъ при массивной шпалѣ. Длина же шпалы имѣетъ значеніе въ смыслѣ устойчивости пути и передачи давленія на балластъ. Что касается способа прикрѣпленія, то это вопросъ, о которомъ, конечно, нужно подумать. Я не берусь высказаться по нему категорически, но только укажу на то, что устройствомъ въ мѣстахъ скрѣпленія рельсовъ нѣкотораго рода диафрагмы, не сплошной, но внутренняго утолщенія, можетъ быть, облегчилась бы возможность прикрѣпленія.

А. Л. Васютинскій. Я долженъ замѣтить, что не только потому нельзя разсчитывать на такое скрѣпленіе, что тамъ треніе можетъ удерживать или не удержитъ болты, но и потому, что, въ случаѣ ослабленія, тогда произошло бы такое уширеніе колесъ, которое опасно для движенія. Тутъ нельзя разсчитывать на то, что, вѣроятно, тренія было бы достаточно. Вѣдь, эти болты будутъ вдавливаться снизу вверхъ и будутъ продавливать эти тонкія бетонныя стѣнки. Поэтому, такое соединеніе совершенно невозможно. Затѣмъ, помѣщеніе рельса прямо на бетонной шпалѣ производило бы такое истираніе бетона, которое, вѣроятно, отразилось бы весьма неблагоприятно на службѣ шпалъ. Тутъ необходимы какія-нибудь прочныя подкладки. Разъ при жѣлѣзной шпалѣ рельсъ опирается не непосредственно на шпалу, а тоже на подкладку, то здѣсь тѣмъ болѣе нужно придумать что-нибудь въ томъ же родѣ. Здѣсь ничего не предвидѣно для предѣльной боковой подгонки. Но это всегда возможно, чтобы соответственно подбивать бетонную шпалу, но только бетонъ не выдержитъ непосредственнаго давленія рельсовъ. И этотъ родъ скрѣпленія, такъ какъ онъ обусловленъ примѣненіемъ полой шпалы, доказываетъ, что полая шпала должна

быть замѣнена чѣмъ-нибудь другимъ, именно, тутъ долженъ быть полный массивъ, на которомъ можно было бы что-нибудь укрѣпить вроде пробокъ Колле и т. п., для того, чтобы можно было забить костыль или ввинтить шурупъ. Тогда отпадаютъ и всѣ предположенія докладчика о возможности перемѣщенія колесъ. Здѣсь рельсъ нельзя перемѣщать иначе, какъ измѣняя толщину лапокъ въ той части, которая входитъ. А такъ какъ такихъ лапокъ здѣсь нельзя примѣнить, то этотъ способъ прикрѣпленія не допускаетъ бокового движенія.

И. Н. Ливчако. Я хотѣлъ бы обратить вниманіе на слѣдующую слабую сторону бетонныхъ шпалъ. Извѣстно, что качество бетона, крѣпость его, зависитъ отъ изготовленія бетона. Я читалъ въ одномъ изъ французскихъ журналовъ о постройкѣ какой-то крѣпости, казематы которой покрыты бетоннымъ слоемъ, причемъ по испытанію оказалось, что въ нѣкоторыхъ мѣстахъ бетонный слой выдерживалъ удары ядеръ, а въ другихъ мѣстахъ совершенно разсыпался, несмотря на то, что были приняты всѣ мѣры къ тому, чтобы работы производились точно. Представимъ себѣ, что миллионъ шпалъ изготовится: развѣ можно поручиться, что каждая шпала будетъ сдѣлана совершенно аккуратно? Если предположимъ, что въ этомъ количествѣ 0,1% будетъ негодныхъ шпалъ, то это вызоветъ очень большую опасность, если даже только одна шпала лопнетъ подъ поѣздомъ. Трудно надѣяться на то, чтобы всѣ шпалы были изготовлены одинаково хорошо. Какъ ихъ контролировать, когда будутъ изготовляться миллионы такихъ шпалъ? Такъ что это чрезвычайно опасно*).

Предсѣдатель. Есть замѣчанія, милостивые государи, по этому поводу? (*Замѣчаній не послѣдовало*). Тогда позвольте мнѣ нѣсколько резюмировать слышанное нами.—Сравненіе пустотѣльных шпалъ жѣлѣзо-бетонныхъ со сплошными, конечно, подлежитъ опыту; другого вы-

*) Результаты испытанія пустотѣльных жѣлѣзо-бетонныхъ шпалъ предложеннаго А. И. Ольденборгеромъ типа, полученные въ механической лабораторіи Института инженеровъ п. с. Императора Александра I, будутъ приведены въ одномъ изъ ближайшихъ выпусковъ нашего журнала.

хода нѣтъ, какъ высказаться за то, чтобы испытывались и тѣ, и другія. Совершенное устраненіе желѣзо-бетонныхъ шпалъ, мнѣ кажется, едва ли желательно, потому что и Желѣзный Сѣздъ отнесся сочувственно къ шпаламъ изъ этого матеріала, и онѣ употребляются даже на практикѣ. Слѣдовательно, почему же и намъ не имѣть, не поддерживать этихъ шпалъ? Все зависитъ отъ экономической стороны дѣла. Если производство этихъ шпалъ, какъ сказалъ Іосифъ Николаевичъ, можетъ быть несовершенно, то, конечно, можно установить надзоръ за нимъ. Что касается другой части доклада, именно о сплошномъ пути, то въ прошломъ году эта мысль была противопоставлена разнымъ усовершенствованіямъ скрѣпленій, и изъ того, что сегодня выяснилась, въ отношеніи недостатковъ предполагаемаго докладчикомъ скрѣпленія рельса со шпалой, необходимость усовершенствовать эти скрѣпленія, можно заключить, что эта борьба между идеями сплошного пути и усиленія стыка посредствомъ улучшеннаго скрѣпленія въ данномъ случаѣ не скоро кончится. Борьба эта могла бы окончиться тогда, когда будетъ изобрѣтенъ такой способъ скрѣпленія желѣзо-бетонной шпалы съ рельсомъ, который позволитъ рельсу правильно перемѣщаться въ стороны, безопасно для движенія но сомнительно, чтобы могъ быть скоро изобрѣтенъ такой способъ, хотя и желательно, чтобы онъ былъ изобрѣтенъ скорѣе.

Въ заключеніе, позвольте, милостивые государи, предложить поблагодарить сегодняшняго докладчика и оппонентовъ, которые посвятили свой трудъ разъясненію этого новаго и интереснаго вопроса. И будемъ ожидать другого доклада о желѣзо-бетонныхъ шпалахъ, любезно обѣщаннаго намъ уважаемымъ Н. А. Житкевичемъ (*Рукотлесканія*).

Соображенія, касающіяся прочности прикрѣпленія рельса къ поперечнымъ или продольнымъ опорамъ при помощи описанныхъ въ докладѣ А. И. Ольденборгера коробокъ и накладокъ.

Пусть давленіе колеса паровоза на шпалу будетъ 4000 kg., какъ это было опредѣлено въ докладѣ тогда; по Блюмъ, Боррисъ и Баркгаузенъ, наибольшее боковое усиліе можетъ быть принято равнымъ 0,67 нагрузки, т. е. $4000 \times 0,67 = 2680$ kg.

Для того, чтобы рельсъ съ прикрѣпляющими его къ шпалѣ накладками и болтами, не могъ сдвинуться подъ дѣйствіемъ этой силы, необходимо, чтобы сумма сопротивленій тренія между подошвой рельса и шпалой, или подкладкой и шпалой (если между рельсомъ и шпалой будетъ подкладка), накладкой и шпалой и жесткость рельса (относительно вертикальной оси) не были менѣе 2680 kg. Сопротивленіе жесткости рельса здѣсь не будетъ принято въ расчетъ и составитъ запасъ этого расчета.

Сопротивленіе тренія между рельсомъ и шпалой, если коэффициентъ тренія стали по бетону въ состояніи покоя принять въ 0,45, будетъ $4000 \times 0,45 = 1800$ kg.

Такимъ образомъ на долю сопротивленія тренія между прикрѣпляющей накладкой и шпалой, остается $2680 - 1800 = 880$ kg.

Принимая двойной запасъ для обезпеченія неподвижности, получимъ, что это сопротивленіе должно быть $880 \times 2 = 1760$ kg. Такому сопротивленію тренія соответствуетъ нормальное давленіе $\frac{1760}{0,45} = 3911$

kg., и съ этой силой, слѣдовательно, должна быть прижата прикрѣпляющая накладка къ шпалѣ. Сила этого натяженія болта вызываетъ въ немъ внутреннія напряжения, равныя ей, поэтому, принимая прочное сопротивленіе болта на растяженіе въ 1000 kg/cm², по-

лучимъ его сѣченіе изъ $\frac{\pi D^2}{4} \times 1000 = 3911$, $\frac{\pi D^2}{4} =$
 $= 3911 \text{ см}^2$ и $D = 2,23 \text{ см}$.

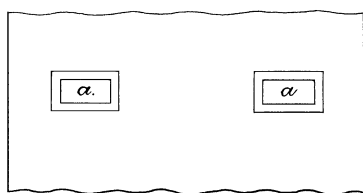
Что касается возможности ослабленія натяженія болта при измѣненіи температуры, то, принимая коэф-
 фиціентъ расширенія для бетона (по Bouissau) $K_1 =$
 $= 0,0000137$ и для желѣза $K_2 = 0,00001079$, полу-
 чимъ, что относительное измѣненіе длины болта и бе-
 тона, въ которомъ онъ помѣщенъ, составитъ на 1° C .
 $0,0000137 - 0,00001079 = 0,00000291$; затѣмъ, по су-
 ществу предлагаемаго способа устройства пути, при
 измѣненіи температуры на максимум $10^\circ - 15^\circ$ *должна*
 производиться перешивка пути, а слѣдовательно, и
 подтягиваніе гаекъ; если, поэтому, для безопасности
 положить, что разность температуры можетъ достиг-
 нуть 20° C . (при этомъ надо принимать въ расчетъ
 только возможность *пониженія* температуры, потому
 что, при *увеличеніи* ея, натяженіе болта можетъ только
 увеличиться, такъ какъ $K_1 > K_2$, и увидимъ ниже,
 по аналогіи, увеличеніе натяженія также не будетъ
 опасно для прочности болтовъ), то это относительное
 удлиненіе болта будетъ равно $(K_1 - K_2) (t' - t) =$
 $= 0,00000291 \times 20 = 0,0000582$ на единицу длины,
 а уменьшеніе напряженія въ болтѣ и, соответственно,
 въ его натяженіи, выразится въ видѣ $E (K_1 - K_2)$
 $(t' - t) \doteq 2, 10^6 \times 0,0000582 = 116,4 \text{ kg/cm}^2$, а на
 $3,911 \text{ см}^2$ сѣченія болта будетъ равно $455,24 \text{ kg}$, т. е.
 уменьшитъ сопротивленіе тренія накладки на $455,24 \times$
 $\times 0,45 = 204,85$ и составитъ лишь около $\frac{1}{3}$ приня-
 таго при расчетѣ сопротивленія.

Очевидно поэтому, что предлагаемый способъ укрѣ-
 пленія рельса на шпалѣ является вполне удовлетво-
 рительнымъ и при значительныхъ измѣненіяхъ темпе-
 ратуры.

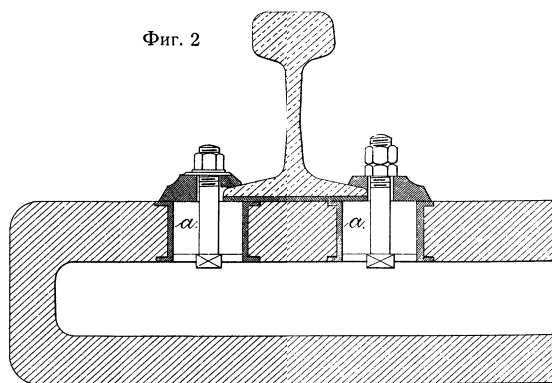
Для предупрежденія возможности развинчиванія
 гайки она снабжается какимъ-либо приспособленіемъ,
 напримѣръ, гайкодержателемъ, кольцомъ Гровера или
 шплинтовымъ кольцомъ, контръ-гайкой и т. п.

А. И. Ольденборгеръ.

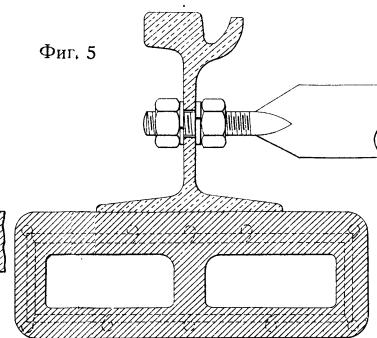
Фиг. 1



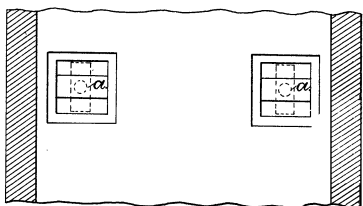
Фиг. 2



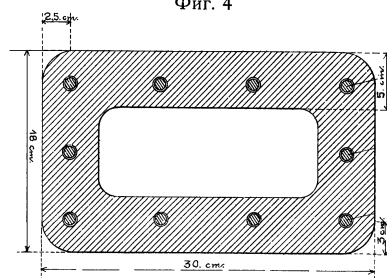
Фиг. 5



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 6

