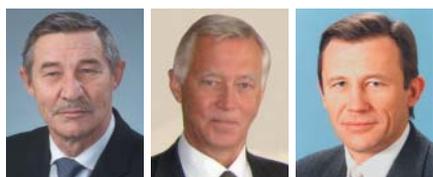


Железнодорожный комплекс наземной инфраструктуры космодрома «Байконур»

Е. С. СВИНЦОВ, докт. техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Изыскания и проектирование железных дорог» ПГУПС,

Е. П. ДУДКИН, докт. техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Промышленный и городской транспорт» ПГУПС,

С. В. ШКУРНИКОВ, канд. техн. наук, доцент кафедры «Изыскания и проектирование железных дорог» ПГУПС



Коллективом сотрудников Петербургского Государственного университета путей сообщения с участием представителей ФГУП «Космотранс» с 2002 года проводится техническое обследование

состояния верхнего строения пути, земляного полотна, искусственных сооружений, СЦБ и связи и других элементов инфраструктуры с целью установления соответствия их современным техническим регламентам и разработки, при необходимости, проектов реконструкции и ремонтов, проектирования новых конструкций ж./д. пути с учетом возросших осевых и погонных нагрузок [1].

Необходимость обследования была обусловлена тем, что полигон сети железных дорог космодрома «Байконур» был построен в основном в конце 50-х — начале 60-х годов, а в последнее десятилетие XX века практически не модернизировался и не реконструировался.

В связи с развитием ракетно-космической техники, необходима модернизация путевого хозяйства космодрома. Рассматривается возможность использования существующих железнодорожных путей после проведения их реконструкции. Следует отметить, что перспективные ракеты-носители имеют большую массу и отличные от прежних массоцентровочные характеристики, статические нагрузки на ось могут повыситься до величин 30–40 тонн, что не позволит использовать имеющиеся железнодорожные пути.

Следовательно, существующие нормы проектирования железнодорожного пути промышленных предприятий, изложенные в СНиП 2.05.07-91, не всегда могут быть применены для условий космодрома и требуют создания специальной конструкции пути по следующим причинам:

- пути РКК «Байконур» являются уникальными по требованиям к защите окружающей среды, в связи с перевозкой особо опасных, ядовитых и взрывчатых веществ и грузов, с учетом расположения космодрома на территории Республики Казахстан и межправитель-

ственных соглашений по охране окружающей среды;

- большая стоимость перевозимого груза за одну поездку, сопоставимая со стоимостью реконструкции участков железнодорожного пути под повышенные нагрузки на ось.

В связи с вышеизложенным, нормы проектирования реконструкции железнодорожных путей космодрома «Байконур» должны быть оптимизированы при индивидуальном проектировании их реконструкции.

Земляное полотно является важнейшей конструкцией железнодорожного пути. От его надежности зависит устойчивость работы пути в целом.

В работах кафедры «Промышленный и городской транспорт» отмечено, что при движении по пути подвижного состава с высокими осевыми нагрузками $P_{ос}=500-600$ кН при мощном верхнем строении пути особо перенапряженными являются балластный слой и земляное полотно [4, 5, 13]. Именно в этих элементах железнодорожного пути уровень возникающих напряжений значительно превышает допустимый, что создает предпосылки к интенсивному накоплению остаточных деформаций и расстройству пути.

Допустимые напряжения в балласте устанавливаются с учетом частоты приложения и величины нагрузки на ось основного подвижного состава и для вагонов приняты равными 0,35 МПа. В этом случае напряжения в балласте под расчетной шпалой превышают допустимые

на 28–33%. Если в качестве допустимых принять напряжения 0,55 МПа, что разрешается правилами для локомотивной нагрузки, то перенапряжения в балласте составят всего 5%.

Допустимые напряжения на основную площадку земляного полотна устанавливаются в зависимости от рода грунта, степени его уплотнения и влажности. Для здорового земляного полотна из наиболее распространенного суглинистого грунта, сложившегося или надлежаще уплотненного и имеющего необходимые водоотводные устройства, допускаемые напряжения принимаются равными 0,08 МПа.

В условиях высоких осевых и погонных нагрузок, по результатам экспериментальных исследований установлено, что снизить напряжения на основную площадку земляного полотна до допустимых значений при обычной конструкции пути можно, лишь увеличив толщину балластного слоя до 2 метров [3, 4, 5, 13].

Кромочные напряжения в подошве рельса и напряжения в шпалах под подкладкой находятся в допустимых пределах при применении тяжелых типов рельсов (Р65 и выше) и использовании усиленных подкладок.

Таким образом, теоретические и экспериментальные исследования показывают, что наиболее критичным по напряжениям является земляное полотно, для снижения напряжений в нем требуется создание специальной конструкции пути.

ЛАФЕТНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

На космодроме «Байконур» имеется опыт по созданию путей специальной конструкции для устройств с повышенной нагрузкой на ось, создание их велось при участии специалистов ЛИИЖТ под руководством профессора В. Ф. Яковлева. Эти устройства длительное время находятся в эксплуатации и периодически освидетельствуются специалистами ПГУПС [6, 7, 8].

Агрегат 8Т185 имеет от 16 до 24 двухколесных тележек, перемещающихся

по прямолинейным рельсовым нитям колеи 17000 мм, опирающимся на всем протяжении на ленточный фундамент через лафетную конструкцию и рельсы типа ОР65. Путь выдерживает средние значения вертикального давления от колеса до 320 кН.

Агрегат 11У25 перемещается одновременно по двум путям колеи 1524 мм. Расстояние между осями путей 20000 мм. Основание пути выполнено в виде блочного ленточного железобетонного фундамента с глубиной заложения от 1,8 до 3,5 метров. Рельсы типа Р75 уложены на железобетонные плиты, которые через щебеночную прослойку опираются на ленточный фундамент. Вертикальные нагрузки от колеса — 254 кН.

Исследования специалистов ПГУПС напряженно-деформированного состояния путей, данные наблюдений за их состоянием на комплексе «Байконур» в совокупности с лабораторными испытаниями рельсов показали, что вышеперечисленные специальные конструкции путей обеспечивают по прочности безопасную работу агрегатов. Длительный опыт эксплуатации (с 60-х годов) показывает: рельсы и спецпути на момент обследования в целом находятся в хорошем состоянии и имеют ресурс по сроку службы.

Таким образом, запроектированные для космодрома «Байконур» спецпути обеспечивают все требования по напряжениям в нижнем строении пути, однако стоимость их велика, в основном из-за организации железобетонных фундаментов глубокого заложения.

УВЕЛИЧЕННЫЙ БАЛЛАСТНЫЙ СЛОЙ

Учитывая, что напряжения в земляном полотне выше допустимых при нагрузках около 560 кН на ось до глубины около 2 м, вариант предусматривает замену грунтов земляного полотна на щебень на всю глубину для исключения работы грунта в неблагоприятных условиях.

Впервые такая задача была решена НИИЖТ в 1972–1975 годах для миксера грузоподъемностью 420 т для Западно-Сибирского металлургического комбината [3]. Представленный вариант имеет ряд положительных характеристик:

- в нем практически использована типовая рельсошпальная решетка, применяемая на внекатегорийных путях металлургических заводов;
- для заполнения траншеи использован местный для района Западной Сибири асбестовый балласт;

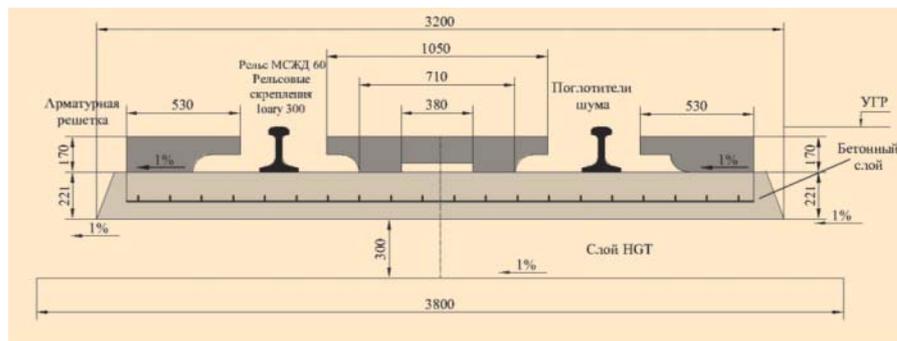


Рис. 1. Поперечный разрез безбалластного пути типа FFC

- в конструкции пути предусмотрено, одновременно с обеспечением давления на грунты основания, предупреждение пучинообразования.

Вместе с тем, применение указанного варианта ограничивается следующими обстоятельствами:

- на ряде участков путей невозможно устройство траншей глубиной 2 метра из-за наличия густой сети подземных коммуникаций;
- строительство такой конструкции на действующих предприятиях затруднено организационно;
- стоимостные показатели для района РКК «Байконур», не имеющего дешевых балластных материалов, практически делают невозможным применение этой конструкции.

БЕЗБАЛЛАСТНЫЙ ПУТЬ

Решающими аргументами в пользу безбалластного пути являются низкие эксплуатационные затраты и повышенная равномерность передачи нагрузок по сравнению с путем на балласте. Это обусловлено его стабильным положением, гарантирующим меньший износ компонентов, а также подвижного состава [10,11].

Следует отметить некоторые преимущества пути на жестком основании:

- уменьшенная ширина трассы;
- уменьшенные статические и динамические нагрузки на земляное полотно ввиду распределяющего действия бетонного или асфальтового несущего слоя;
- высокая стабильность положения пути, снижающая затраты на текущее содержание;
- повышенный срок службы пути;
- постоянная эксплуатационная готовность участка ввиду отсутствия потребности в длительных ремонтных работах.

Вместе с тем, разработанные и уже используемые системы пути на жестком основании (например, Rehda) слишком высокочатратны, прежде всего из-за применяемых материалов и дорогостоящего процесса строительства.

Первоначально при разработке пути такого типа рельсошпальную решетку, по аналогии с балластным путем, заливали в бетон или асфальт. Позднее предложили укладывать шпалы на бетон и фиксировать их только в расчете на восприятие поперечных сил. Впервые примененная для опробования в эксплуатационных условиях на линии Мангейм — Карлсруэ бесшпальная конструкция жесткого пути представляет собой систему нового поколения. В данном случае опоры рельса интегрировались прямо в несущий бетонный слой. Таким образом, удалось уменьшить конструктивную высоту и ширину пути. Меньший расход материалов и современные способы строительства несколько сблизили стоимость балластного и безбалластного пути.

Путь на жестком основании системы FFC (рис. 1) состоит из несущего слоя бетона толщиной 20–22 см с армированием, который, в зависимости от заданных требований, может иметь ширину от 2,4 до 3,2 м.

Достигнутая стабильность положения пути позволила сделать вывод, что сооружение его высокомеханизированными методами при соблюдении высоких требований, предъявляемых к качеству пути, вполне реально.

Однако при значительных нагрузках на ось (45 тонн) применение безбалластного пути не дает ощутимого снижения давления на земляное полотно, так как выравнивание вертикального давления в поперечном сечении не снимает высокого уровня напряжений в земляном полотне, что при нагрузках выше 400 кН/ось ведет к пластическим деформациям земляного полотна.

По этой же причине применение уширенных шпал или простое увеличение эпюры шпал до 2000 шп/км в прямых участках пути также не эффективно.

ПОДБАЛЛАСТНЫЕ ПЛИТЫ

ЛИИЖТ в 70-х годах предложена конструкция пути с применением подбалластных железобетонных плит. При

этом ширина железобетонного основания больше зоны активного давления в балласте, нагрузки на земляное полотно могут быть переданы на большую площадь, и тем самым можно снизить уровень напряжений на основной площадке земляного полотна до желаемых величин. Кроме того, такая конструкция позволяет:

- упростить укладку пути на действующих предприятиях с использованием типовых конструкций рельсошпальной решетки и типовых железобетонных плит, особенно на участках, имеющих густую сеть подземных коммуникаций;
- значительно сократить расход балластных материалов;
- использовать ее при сравнительно слабых грунтах за счет увеличения размеров железобетонных подбалластных плит;
- улучшить условия работы железобетонных шпал, так как подбалластные плиты снижают просадки и прогибы шпал;
- обеспечивать достаточную упругость пути;
- сохранить условия текущего содержания и ремонтов пути.

В научно-исследовательской работе профессора В. Ф. Яковлева [4] рассмотрены различные варианты такого пути и даны прочностные расчеты и соответствующие выводы и рекомендации при проектировании.

Рассматривалась укладка 3-х типов плит для жестких покрытий городских улиц марок ОДП-1, ОДП-1.5 и железобетонная плита 4,5x1,5.

На основании выполненных расчетов показано, что:

- укладка подбалластных железобетонных плит позволяет снизить уровень напряжений на основной площадке земляного полотна, при этом средняя величина реактивного отпора для модуля упругости подрельсового основания (100 и 200 МПа) равны 0,034 и 0,039 соответственно, что меньше допустимого напряжения, которое равно 0,08 МПа, а сами плиты имеют большой запас прочности;

- железобетонные плиты можно укладывать прямо на земляное полотно. Из-за конструктивных соображений под плитами устраивается 15-сантиметровый подстилающий слой из песка (рис. 2);

- укладка подбалластных железобетонных плит уменьшит податливость подрельсового основания, что приводит к уменьшению деформаций (напряжений) в рельсах и железобетонных шпалах, т. е. уменьшит изгибные деформации этих элементов;

С точки зрения работы балласта, укладка подбалластных плит вызовет увеличение напряжений в нем. Однако допустимое напряжение на балласт, равное 0,35 МПа, установленное для путей общего пользования, в основном отражает предупреждение появления больших остаточных деформаций при многократном (20–30 млн циклов) поездной нагрузки. Применительно к воздействию больших осевых нагрузок можно допустить большие остаточные напряжения в балласте, так как за срок службы пути имеет место меньшее количество воздействий поездных нагрузок. Кроме того, в инженерной практике известны примеры, когда щебеночная подушка из твердых каменных пород долгое время работает между двумя жесткими железобетонными плитами без каких-либо признаков разрушения частиц и резких осадков, хотя напряжения значительно превышают допустимые. Это подтверждает и эксплуатация спецпути для агрегата 11У25 на космодроме «Байконур».

На основании выполненных расчетов на Череповецком металлургическом комбинате был уложен путь с подбалластными плитами.

В течение 1990–1991 гг. ЛИИЖТ проведен анализ состояния железнодорожного пути с подбалластными плитами и ходовых частей транспортеров, экспериментальные и теоретические исследования взаимодействия пути и транспортеров и напряженно-деформированного состояния пути [5, 13].

В результате выполненных исследований получены следующие дополни-

тельные выводы и рекомендации по конструкции пути с нагрузками до 560–600 кН на ось:

- Вертикальная динамика миксерных чугуновозов при движении со скоростью 5–10 км/час незначительна и не оказывает существенного влияния на напряженное состояние пути, однако при проектировании конструкции пути и расчетах их на прочность необходимо учитывать коэффициент вертикальной динамики в пределах 1,1–1,2;

- Напряжения, возникающие в железобетонных шпалах, уложенных на щебеночный балласт, незначительно превышают минимальный предел растяжения бетона при изгибе. Для исключения выхода шпал по образованию трещин в средней части требуется тщательная их подбивка;

- Балласт испытывает значительные напряжения сжатия и должен обладать повышенными прочностными характеристиками;

- Рельсошпальная решетка должна укладываться на щебеночный балласт из крепких каменных пород фракцией 25–0 мм с толщиной под шпалой 45–50 см. Плечо балластной призмы должно быть 45–50 см;

- Динамические испытания показали, что плита типа ПЖД-2,4 обладает значительным запасом прочности;

- Напряжения, передаваемые подбалластной железобетонной плитой на основную площадку земляного полотна, несколько превышают допустимые. Целесообразно уплотнять грунты и песчаную подушку перед укладкой в грунт до деформативных характеристик, соответствующих грунтам ненарушенного слоя;

- Для увеличения сцепления между балластом и плитой целесообразна укладка мягкой песчано-битумной смеси толщиной до 20 мм;

- Укладка железобетонных плит должна осуществляться на выравнивающий песчаный слой толщиной 10–15 см.

Учитывая, что в нашем случае статическая нагрузка на ось меньше, указанная конструкция пути позволит обеспечить необходимые характеристики напряженно-деформированного состояния, что должно быть подтверждено индивидуальным проектом для условий космодрома «Байконур».

ПУТЬ С ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИМИ МАТЕРИАЛАМИ

Наиболее современным методом усиления основной площадки земляного полотна является метод использования различных геосинтетических ма-

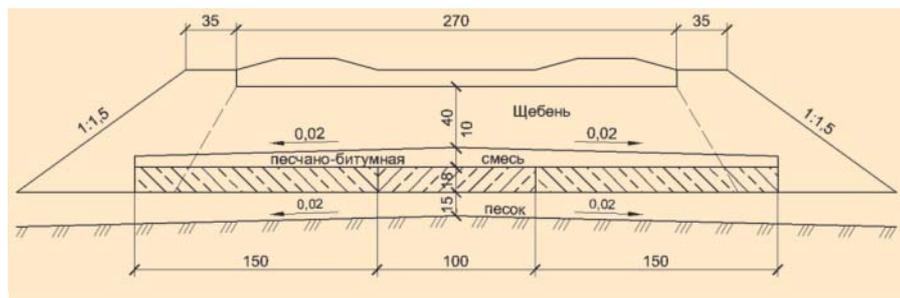


Рис. 2. Конструкция пути с подбалластными плитами

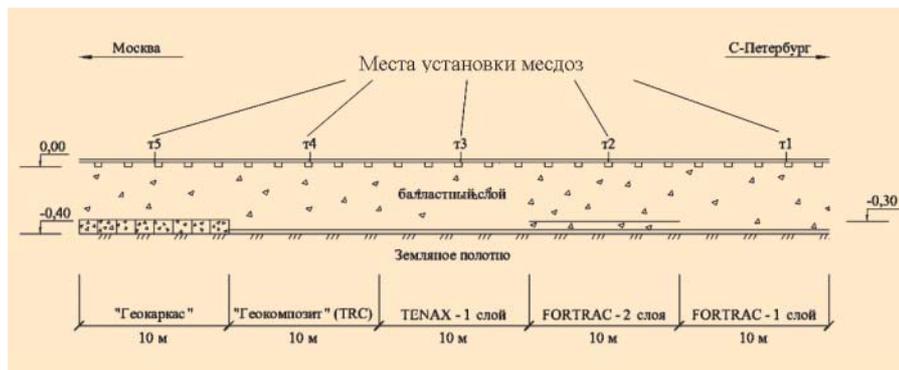


Рис. 3. Схема укладки геоматериалов

териалов. Для исследования влияния геосинтетических материалов на работу земляного полотна под динамической нагрузкой был выбран экспериментальный участок на линии Санкт-Петербург — Москва на 53 км [12]. В мае 2001 года на данном участке был выполнен капитальный ремонт, в комплексе работ которого на глубине 40 см под подошвой шпалы были уложены различные типы геосинтетических материалов. Для исследования влияния армирования грунтов основной площадки земляного полотна геосинтетическими материалами были созданы следующие конструкции подбалластного слоя:

- укладка в подбалластный слой георешетки FORTRAC в один слой;
- укладка в подбалластный слой георешетки FORTRAC в два слоя;
- укладка в один слой георешеток TENAX;
- конструкция подбалластного слоя с применением георешетки «Геокомпозит»;

• армирование подбалластного слоя объемными геоячейками «ГЕОКАРКАС».

Схема укладки материалов представлена на рис. 3.

Георешетка FORTRAC является плоской структурой, состоящей из регулярно расположенных открытых ячеек, образованных сплетенными нитями из материала, изготовленного из высокопрочного полиэстерного волокна «полиэтилентерефталат». Нити сплетены в решетку и покрыты защитным слоем черного поливинилхлорида.

Георешетка TENAX изготовлена из полипропилена и является плоской структурой, состоящей из регулярно расположенных открытых ячеек. В нашем случае была применена решетка TENAX LBO SAMP. Размер ячейки 30x30 мм (ENKAGRID TRK — 20).

«Геокомпозит» — многофункциональный композиционный материал, состоящий из сетки и нетканого геотекстиля, эффективный размер пор 0,16 мм, размер ячейки 14x14 мм.

«ГЕОКАРКАС» — объемная георешетка из синтетических лент, скрепленных между собой посредством сварных швов таким образом, что при растяжении в поперечном направлении они образуют сотовую конструкцию. Изготавливается из полиэтилена ПВД+2% сажи. Высота ячейки 10 см, толщина стенки ячейки 1,2 мм, площадь ячейки 356 см².

Анализ экспериментальных данных по определению напряженного состояния грунтов основной площадки земляного полотна позволяет сделать следующие выводы.

Все уложенные типы геосинтетических материалов приводят к уменьшению уровня вертикальных напряжений в подрельсовом сечении по сравнению с контрольным участком. Георешетка FORTRAC, уложенная в 1 слой, снижает вертикальные напряжения в 1,1 раза, георешетка TENAX, уложенная в 1 слой, — в 1,17 раза, 2 слоя FORTRAC — 1,39 раза, «Геокомпозит» — в 1,59 раза, и объемные георешетки «ГЕОКАРКАС» — в 2,23 раза.

Происходит перераспределение вертикальных напряжений от торца шпалы к оси пути, что снижает пиковые нагрузки на основную площадку земляного полотна.

Геоматериалы перераспределяют и горизонтальные напряжения за счет уменьшения напряжений по оси рельса и торцу шпалы и роста по оси пути. В среднем в подрельсовом сечении горизонтальные напряжения уменьшились по сравнению с контрольным участком в 1,1 раза при укладке TENAX в 1 слой, в 1,3 раза при использовании георешетки FORTRAC в 2 слоя, в 2,7 раза при укладке «Геокомпозит» и в 3,1 раза при армировании объемными геоячейками «ГЕОКАРКАС».

Конструкция пути с использованием геоматериалов по результатам предварительного анализа может быть рассмотрена для использования в проекте модернизации железнодорожных путей космодрома «Байконур».

Подводя итог оценке вариантов специальной конструкции пути, следует отметить целесообразность для сниже-

ния нагрузок на земляное полотно на комплексе «Байконур» и в первую очередь рассмотреть укладку железобетонных плит или объемной георешетки типа «ГЕОКАРКАС» на основную площадку земляного полотна.

Рельсы Р65, с использованием железобетонных шпал с эпорой 1840 в прямых и деревянных шпал твердых пород с увеличенными подкладками с эпорой 2000 шп/км в кривых, обеспечат достаточную прочность верхнего строения пути, при этом в кривых необходима установка стяжек, контррельсов или других устройств фиксации рельсов в поперечной плоскости.

Окончательный выбор варианта конструкции специального пути и определение стоимости работ должны быть сделаны при индивидуальном проектировании после получения данных по состоянию и структуре земляного полотна на основании геологических изысканий конкретных участков железнодорожных путей, подлежащих модернизации на космодроме «Байконур». При этом на основе теоретико-экспериментальных исследований должна быть решена комплексная задача взаимодействия агрегата и пути на всех участках транспортировки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Отчет — заключения о техническом обследовании верхнего строения пути, земляного полотна, искусственных сооружений, устройств СЦБ, связи и энергообеспечения, 77,58 км главных железнодорожных путей космодрома «Байконур». С-Пб, ПГУПС, НИС №3936,08.04.2002 г. Яковлев В.Ф., Свищев Е.С., Шкурников С.В.
2. Коншин Г. Г. и др. Напряжения и упругие деформации в земляном полотне под действием поездов // Сб. научных трудов ЦНИИ МПС, 1972, вып. 460.
3. Исследования взаимодействия пути и чугуновозных ковшей миксерного типа емкостью 420 тонн в условиях работы заводских путей // Отчеты НИИЖТ, 1973, 1974, 1975.
4. Яковлев В. Ф. Динамические испытания миксерных чугуновозов грузоподъемностью 420 тонн и рекомендации по конструкции верхнего строения пути для ЧМЗ. — ЛИИЖТ, 1975.
5. Экспериментально-теоретические основы выбора параметров ходовых частей вагонов промышленных железных дорог (по условиям взаимодействия с конструкцией пути). Диссертация докт. техн. наук Дудкина Е. П. — ЛИИЖТ, 1991.
6. Смирнов М. П. Анализ работы конструкции пути и ходовых частей агрегатов 11У25, 11У212 и 8Т185. — ЛИИЖТ, 1973.
7. Дудкин Е. П. Методика эксплуатационных испытаний путей агрегата 8Т185. — ПГУПС, 1998.
8. Анализ геометрических размеров колесной схемы агрегата 8Т185. Динамические напряжения в спецпути. Отчет о НИР. — ПГУПС.
9. Широкие шпалы // Железные дороги мира, № 07, 2000.
10. Путь на жестком основании системы Crailsheim // Железные дороги мира, 2000, № 08.
11. Усиление конструкции пути в расчете на высокие осевые нагрузки // Железные дороги мира, 2004, № 07.
12. Отчет по испытаниям геосинтетических материалов. — ЛИИЖТ, 2000.
13. Яковлев В. Ф., Дудкин Е. П. Разработка рекомендаций по устройству и содержанию ж.д. пути на участках перевозки слитков массой 420 и 550 т. Отчет о НИР. — ЛИИЖТ, 1992.