

ПРИБОРЫ ОПЕРАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ

Благодаря наличию операционных средств контроля у организаций, осуществляющих строительные работы с применением новых технологий, и, конечно же, благодаря высококвалифицированным специалистам, проводящим контрольные измерения, значительно повышается надежность и долговечность автомобильных дорог, не уступающих по своему качеству европейским.

Сегодня специалистам и дорожных лабораторий, и строительных организаций, предоставлен довольно широкий выбор средств контроля. Появляются новые отечественные приборы, которые по некоторым своим метрологическим характеристикам даже превосходят зарубежные аналоги.

При строительстве автодорог одной из основных проблем является уплотнение земляного полотна. В России степень уплотнения песчаных и глинистых грунтов нормируют на основе некоторой эталонной зависимости «влажность грунта при уплотнении – плотность сухого грунта», получаемой опытом на стандартное уплотнение.

При нормировании плотности удобнее пользоваться коэффициентом уплотнения (K_u), так как он является безразмерной величиной и не зависит от состава грунта. Для определения коэффициента уплотнения грунта применяется метод сравнения плотности выемки грунта с плотностью того же грунта, полученной в лабораторном приборе стандартного уплотнения СоюздорНИИ.

В России, помимо стандартного прибора ПСУ-2.5 «Росдортех», выпускаются и другие приборы, например, полуавтоматический ПСУ-МГ4, выпущенный ООО «СКБ Стройприбор». Прибор позволяет значительно ускорить получение стандартных характеристик грунта, поскольку уплотнение

грунта проводится одновременно в двух формах. Прибор ПСУ-МГ4 имеет счетчик количества ударов (индикация количества ударов на дисплее), после окончания цикла уплотнения прибор автоматически отключается.

Метод оценки качества уплотнения по коэффициенту K_u предусматривает обязательный отбор образцов грунта, точное взвешивание, определение влажности грунта при высушивании в течение 5–8 часов, уплотнение высушенного и предварительно измельченного образца в приборе стандартного уплотнения. В итоге коэффициент уплотнения грунта будет определен минимум через сутки, когда исправить качество уплотнения грунта бывает сложно или уже невозможно.

Для оперативного контроля качества уплотнения грунтов в России разработан пенетромтр статического действия ПСГ-МГ4, при помощи которого можно определять качество уплотнения грунта по усилию пенетрации. Принцип работы пенетромтра основан на эмпирических зависимостях между усилием пенетрации и физическими параметрами, характеризующими уплотняемое грунтовое основание дорожного полотна. Для измерения усилия пенетрации применяется тензометрический датчик силы. Для компенсации веса пенетромтра перед проведением измерения предусмотрено автоподстройка нуля.

При использовании пенетромтра ПСГ-МГ4 для контроля качества уплотнения грунта следует руководствоваться исследованиями, проведенными ФГУП «СоюздорНИИ»: «Основы нормирования и обеспечения требуемой степени уплотнения земляного полотна автомобильных дорог».

Вдавливание пенетромтра в грунт проводится плавно в течение 5÷10 секунд на глубину до 75÷100 мм. Для уменьшения погрешности измерения в приборе применяется статистическая обработка измеряемого усилия при внедрении наколнечника в грунт.

С помощью пенетромтра, по предварительно установленным зависимостям, можно дополнительно определять и плотность песчаных грунтов. В ПСГ-МГ4 предусмотрена возможность записи в программное устройство до четырех индивидуальных градуировочных характеристик, установленных пользователем по результатам испытаний различных видов песчаных грунтов с помощью прибора стандартного уплотнения ПСУ.

Результаты испытаний заносятся в таблицу. Для линеаризации зависимости логарифмируют числовое значение сопротивления пенетрации PL и числовое значение плотности грунта ρ_L .

$$P_L = \ln(P);$$

$$\rho_L = \ln(\rho)$$

Строится график $\rho_L(P_L)$, и методом наименьших квадратов определяются коэффициенты линейного уравнения $\rho_L = aP_L + b$.

Зависимость между сопротивлением пенетрации P и плотностью

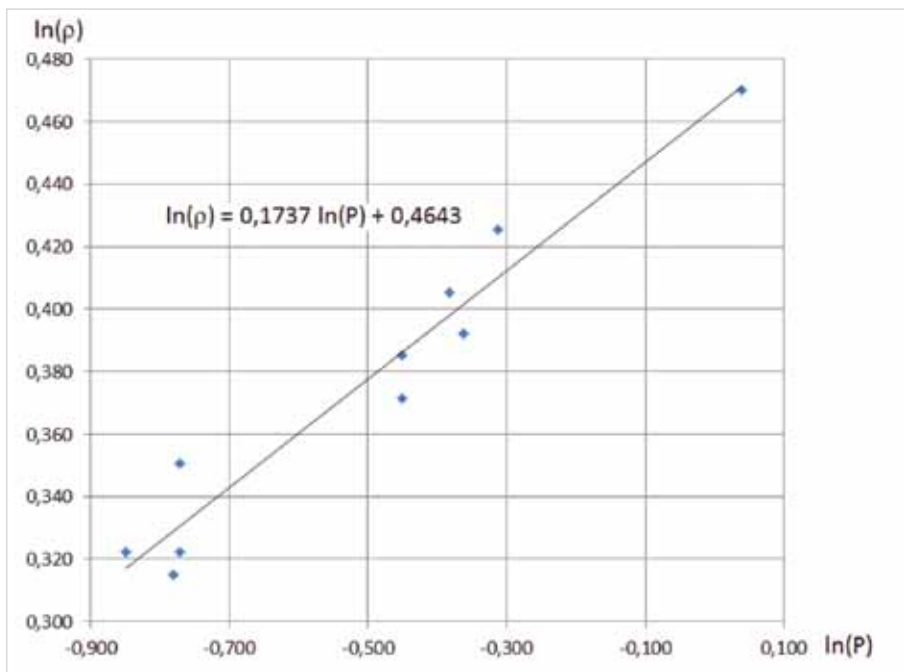


Рис. 1. График зависимости $\rho_L(PL)$

грунта ρ определяется выражением

$$\rho = C \cdot P^n,$$

где $C = e^b = 2,718^{0,4643} = 1,591$;
 $n = a = 0,1737$.

На рис. 2 приведен график зависимости плотности песчаного грунта (песок мелкий) от сопротивления пенетрации.

Следует отметить, что на долговечность дорожного основания

помимо коэффициента уплотнения и плотности грунта большое влияние оказывают и его прочностные и деформационные свойства. Поэтому более логично измерять непосредственно показатели прочности и деформации, чем плотность грунта.

Для измерения модуля упругости (модуля динамической деформации или несущей способности) грунтового основания дорожного полотна в ряде стран используют

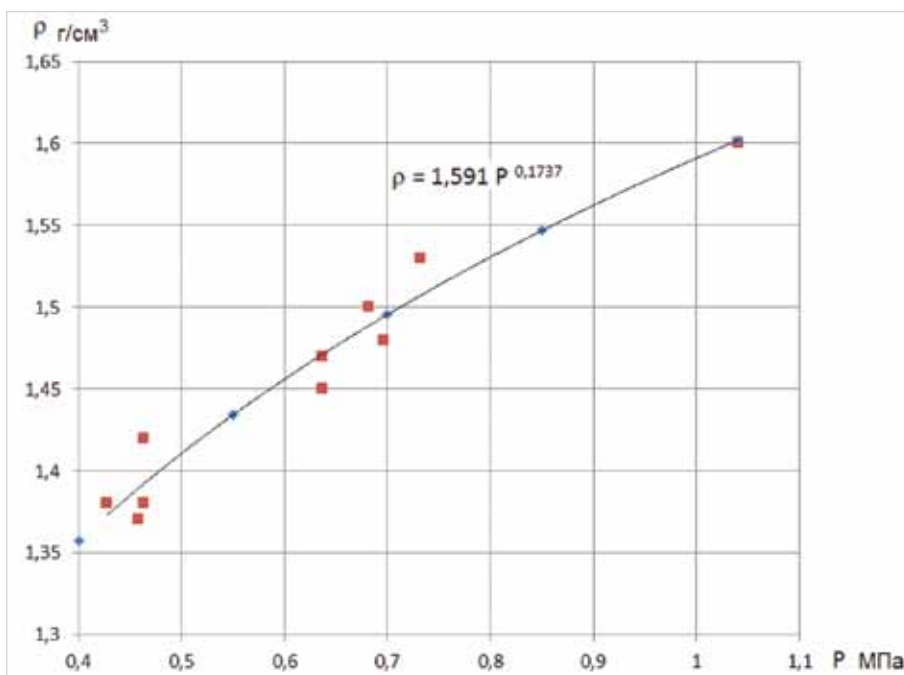


Рис. 2. Зависимость между плотностью песчаного грунта и сопротивлением пенетрации

ся малогабаритные установки динамического нагружения. Такая установка снабжается подвижным грузом, при сбрасывании которого на амортизатор возникает динамическое усилие, воздействующее через круглый штамп на контролируемую поверхность.

Так, в Германии для определения модуля упругости подстилающих слоев дорожного полотна широко используется прибор ZFG фирмы Gerhard Zorn, определяющий модуль упругости дорожного основания по величине деформации грунта под действием импульса силы падающего груза.

Сущность метода и параметры установок динамического нагружения (УДН) были стандартизированы Советом Экономической Взаимопомощи (СТ СЭВ 5497-86, группа Ж81) и приняты в качестве Государственного Стандарта СССР в 1987 году.

Подобные приборы с улучшенными характеристиками разработаны и в РФ. Так, в динамическом плотномере ПДУ-МГ4 (и его модификациях) модуль упругости определяется исходя как из измеренной деформации дорожного основания, так и измеренной силы, действующей на круглый штамп. Применение в приборе двух датчиков (датчика силы и датчика перемещения), а также удлиненной направляющей с перемещаемым механизмом фиксации груза позволяет регулировать силу удара и значительно расширить диапазон определения модуля упругости. Прибор можно использовать как на низкопрочных, заторфованных грунтах, так и на щебеночных основаниях.

Для дорожной отрасли нашей страны особый интерес представляет выполнение с помощью УДН практического контроля качества уплотнения именно щебеночных оснований, так как в России пока нет ни узаконенных норм, ни приемлемых методов и средств этого контроля. При уплотнении щебеночно-

го основания степень уплотнения оценивается в основном субъективно. А ведь щебеночное основание является наиболее важным элементом дорожной одежды – его недостаточная прочность и низкая жесткость сразу отражается на состоянии асфальтобетонного покрытия (осадки, волны, колеи, трещины).

Модуль упругости в соответствии с ОДМ 218.3.023-2012 «Методические рекомендации по определению модуля упругости дорожной одежды с использованием статического жесткого штампа» вычисляется по формуле:

$$E = \frac{\rho \cdot d \cdot s}{4L} (1 - m^2) \quad (1)$$

где L – фактическая величина обратного прогиба;

s – удельная нагрузка, под действием которой получена обратимая деформация;

m – коэффициент Пуассона, среднее значение которого при вычислении общего модуля слоистой конструкции принимается $m = 0,3$;

d – диаметр жесткого штампа.

Удельная нагрузка определяется из выражения:

$$s = \frac{4F}{\rho \cdot d^2} \quad (2)$$

где F – сила, действующая на штамп.

Подставив выражение (2) в выражение (1), получим:

$$E = \frac{F}{d \cdot L} (1 - m^2) \quad (3)$$

По ОДМ 218.2.024-2012 «Оценка прочности нежестких дорожных одежд» модуль упругости вычисляется по формуле:

$$E = \frac{d \cdot s}{L} (1 - m^2). \quad (4)$$

В формуле (4) отсутствует коэффициент $\rho/4$, поэтому модуль упругости при расчетах по формуле (4) завышается примерно на 20%

по сравнению с расчетами по формуле (1).

В соответствии с приложением ОДМ 218.2.024-2012, средняя сила $F_{ср}$ при определении контактного напряжения s рассчитывается или измеряется при помощи станда на жестком основании и в дальнейшем считается постоянной величиной.

Методика выполнения измерений на стенде в плане метрологии не выдерживает никакой критики.

Понятно, что при такой методике измерения, даже если исключить различное поведение грунта при статическом и динамическом нагружении, зависимость между модулями упругости, измеренными двумя методами, будет нелинейной.

При проведении измерений прибором ZFG эта нелинейность наблюдается, также наблюдается и большой разброс значений модуля упругости.

Дословный текст руководства по эксплуатации прибора ZFG:

Модуль упругости вычисляется по формуле:

$$E_{vd} = \frac{k}{L}$$

где k – коэффициент, зависящий от геометрии плиты и веса груза (22,5 – для ZFG-02, 33,75 – для ZFG-06).

Соотношение между статическим (E_{v2}) и динамическим (E_{vd}) модулем упругости.

Динамический модуль зависит от вида грунта и степени уплотнения. Опыт показывает, что соотношение E_{v2}/E_{vd} лежит в диапазоне от 1 до 4. Для хорошо уплотненных грунтов E_{v2}/E_{vd} около 2,3.

В среднем наблюдается следующее соотношение:

$$E_{v2} = 600 \cdot \ln \frac{300}{300 - E_{vd}}$$

Это соотношение не выполняется при крайних значениях модулей.

На полигоне Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ) 30 мая 2013 года были проведены сравнительные испытания приборов по измерению модуля упругости грунтов ПДУ-МГ4 «Удар» ООО «СКБ Стройприбор» и прибора ZFG компании Zorn Instruments (присутствовали представители от предприятий-изготовителей с обеих сторон). По результатам сравнительных испытаний, которые выявили большое различие в показаниях приборов при измерении модуля упругости, особенно на щебеночных основаниях, был оформлен протокол. У прибора ZFG компании Zorn Instruments измеренное значение модуля упругости на щебеночном основании было в 3...3,5 раза меньше, нежели по показаниям ПДУ-МГ4. Причем разброс показаний у прибора ZFG компании Zorn Instruments на щебеночных основаниях составил до 30%, тогда как у прибора ПДУ-МГ4 это значение не превышало 4%.

На рис. 3 приведена усредненная зависимость между показаниями прибора ZFG компании Zorn Instruments и ПДУ-МГ4 ООО «СКБ Стройприбор». По оси абсцисс отложены показания ПДУ-МГ4. Подобная зависимость между динамическим модулем деформации E_{vd} по УДН прибора ZFG Zorn Instruments и модулем упругости E по прогибомеру под колесами груженого автосамосвала была установлена компанией «Дорстрой» (совместно с Санкт-Петербургским филиалом СоюздорНИИ).

Большие разбросы по модулю упругости ZFG объясняются, по мнению специалистов компании «СКБ Стройприбор», использованием в приборе пьезоэлектрического акселерометра. Полезный сигнал с акселерометра имеет частоту в диапазоне от 30 до 100 Гц.

При падении груза, из-за взаимодействия тарельчатых пружин и ударов при движении, возника-

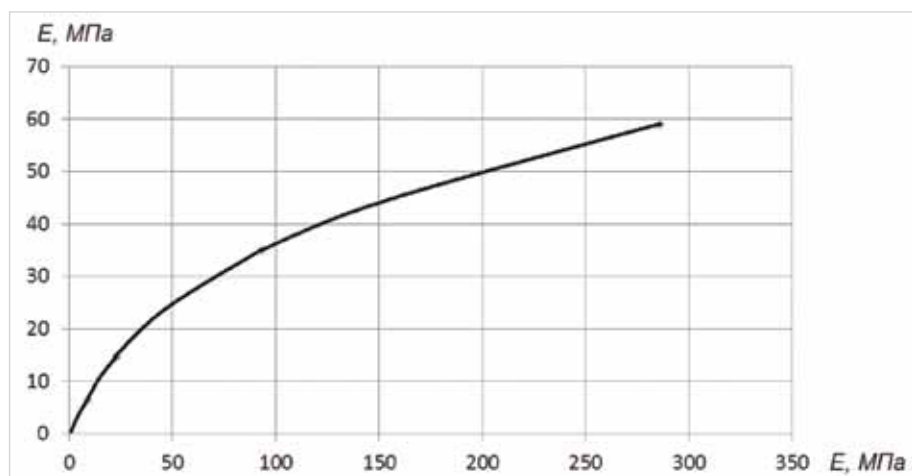


Рис. 3. Зависимость показаний прибора компании Zorn Instruments от показаний ПДУ-МГ4 ООО «СКБ Стройприбор»

ют высокочастотные колебания, которые необходимо отфильтровывать. Погрешности измерения могут возникнуть при недостаточной фильтрации сигнала или некорректной работе интеграторов, преобразующих сигнал ускорения в значение перемещения. Большие разбросы значений возникают также при недостаточной жесткости штампа, так как прогиб штампа в результате удара воспринимается за деформацию грунта.

Для уменьшения влияния высокочастотных колебаний в приборе ПДУ-МГ4 применяется акселерометр, где используется технология микромеханики. Датчик хорошо работает в низкочастотном диапазоне и малочувствителен к высокочастотным колебаниям. В приборе используется скоростное АЦП и цифровой интегратор. Акселерометр из прибора извлекается и может поверяться и калиброваться на вибростенде совместно с интегратором с погрешностью не более 3%. Тензометрический датчик силы поверяется и калибруется на силоизмерительной машине с погрешностью не более 1%.

При измерении модуля упругости с помощью ПДУ-МГ4 сила, действующая на штамп, изменяется обратно пропорционально перемещению.

Поэтому на жестких грунтах зависимость между модулями упругости, измеренными статическим

и динамическим методами, линейная, с расхождением не более 15%. Расхождение в измерениях вызвано различным поведением грунта при различном времени силового воздействия. Большие расхождения получаются на слабых и переувлажненных грунтах, когда существует значительная остаточная деформация. Расхождение в измерениях можно уменьшить, снизив высоту падения груза, но данный метод носит субъективный характер, так как зависит от опыта оператора.

Для обработки результатов проведенных измерений приборами ПДУ-МГ4 «УДАР» и ПДУ-МГ4.01 «УДАР» ООО «СКБ Стройприбор» разработана программа «ПДУ-ГРУНТ». Программа позволяет значительно уменьшить трудоемкость обработки полученных с помощью этих приборов измерений, сделать необходимые расчеты, провести визуализацию числовых данных, позволяющую наглядно представить особенности площадки для строительства, выявить аномальные участки грунта.

Программа «ПДУ-ГРУНТ» позволяет по результатам измерений, проведенных с помощью приборов ПДУ-МГ4 «УДАР» или ПДУ-МГ4.01 «УДАР», выполнять следующие действия:

1. вычислять коэффициенты уплотнения различных грунтов (глин, суглинков, песков, щебня различной фракции и степени дробимости);

2. вычислять коэффициенты постели грунта С1 и С2;
3. вычислять высоту установки груза по заданной глубине вовлеченных в измерения слоев;
4. переводить измеренный модуль упругости в статический модуль упругости или в модуль упругости других приборов, например приборов ZFG компании Zorn Instruments, по установленной пользователем зависимости;
5. вычислять общий модуль упругости многослойной конструкции;
6. устанавливать зависимость между коэффициентом уплотнения грунта и модулем упругости по результатам параллельных испытаний;
7. вычислять территориальные поправочные коэффициенты и относительную влажность грунтов;
8. вычислять промежуточные значения модуля упругости с помощью сплайн-интерполяции, строить 3D-изображение распределения модуля упругости грунта на строительной площадке;
9. записывать результаты вычислений в виде отдельных xls-файлов, из которых впоследствии можно сформировать отчет.

Для оперативного контроля качества уплотнения асфальтобетонной смеси существует несколько приборов, позволяющих измерять плотность асфальтобетона неразрушающим методом.

В данное время одним из наиболее совершенных приборов в этом плане является американский - RQI фирмы Transtech Inc. В первых приборах RQI наличие воды в асфальтобетоне приводило к существенным искажениям измерений плотности, в последующих моделях эта проблема была решена.

Если проводить измерения плотности асфальтобетона чисто по электрической проницаемости, используя емкостной датчик, то выделить наличие воды в асфальтобетоне невозможно. Такой прибор необходимо будет калибровать под конкретный материал, возникнет потребность в постоянной установке «нуля», при

наличия воды показания будут существенно завышены.

При разработке плотномера асфальтобетона ПА-МГ4 «СКБ Стройприбор» учитывался опыт использования аналогичных по назначению приборов. В приборе удалось решить проблему определения наличия воды в асфальтобетоне и ввести компенсацию влажности на показания плотности с применением радиоволнового метода измерения. В приборе нет процедуры установки нуля. Имеется всего лишь одна базовая зависимость. И самое основное: прибор может измерять плотность асфальтобетона с погрешностью не более 2,5% без предварительной калибровки на асфальтобетонах типа А и Б с любым материалом заполнителя (исключение составляют асфальтопесчаная смесь и другие смеси типа Г). В приборе проводится коррекция результатов измерения в зависимости от температуры асфальтобетонной смеси и от температуры окружающего воздуха.

Следует отметить, что плотномеры асфальтобетона имеют некоторые ограничения при использовании:

1. При работе с горячим асфальтом (температура поверхности выше 50°C) не допускается сильного нагрева датчика. Устанавливать плотномеры на горячий асфальт следует только на время проведения измерений.

2. На результат измерения оказывает влияние состояние поверхностных слоев асфальтобетона. Особенно сильное занижение плотности получается на шипованных поверхностях, поскольку неплотное прилегание датчика плотномера к поверхности (возникновение воздушного зазора) воспринимается как уменьшение плотности. Для компенсации возникающего расхождения между измеренным и действительным значением плотности в плотномере ПА-МГ4 следует воспользоваться коэффициентом смещения В, значение которого подбирается в зависимости от шероховатости поверхности.

3. При излишней влажности точность измерений плотномеров снижается. Запрещается проводить измерения в местах, где на поверхности покрытия имеются чрезмерные скопления влаги (лужи).

Для изготовления образцов асфальтобетона и их испытаний на прочность в ООО «СКБ Стройприбор» производятся малогабаритные прессы.

Пресс ПГМ-100МГ4А имеет увеличенный ход поршня, дополнительно обеспечивает испытания асфальтобетонных образцов на сдвиг, одноосное сжатие и растяжение при изгибе при скоростях нагружения 3; 10; 50 и 50,8 мм/мин, в том числе по ПНСТ 109, 113 и 179.



Пресс гидравлический малогабаритный ПГМ - 500МГ4А

Прессы ПГМ-500МГ4 и ПГМ-500МГ4А предназначены для испытания бетонных образцов на сжатие, кирпича на изгиб и сжатие (половинок), асфальтобетона на сжатие.

Пресс ПГМ-500МГ4А имеет увеличенный ход поршня, дополнительно обеспечивает испытания щебня и пропантов на дробимость, формование асфальтобетонных образцов в одинокорпусных формах, в том числе по ГОСТ 30491, 32707 и 52129, при этом обеспечивается прессование под давлением 7, 10, 20, 30 и 40 МПа и выдержка под давлением в течение $3 \pm 0,1$ минут.

Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии утвержден предварительный национальный стандарт Российской Федерации ПНСТ 184-2016 с датой введения в действие 1 июня 2017 года и сроком действия до 1 июня 2019 года. Параллельно вводятся в действие сопутствующие ПНСТ на методы испыта-

ний. В вышеперечисленных прессах реализованы требования ПНСТ. С введением ПНСТ возникли и некоторые вопросы. Так, привычные для российских дорожников показатели прочности образцов асфальтобетона при сжатии в ПНСТ не вошли. Также отсутствует достаточная ясность и по изготовлению образцов асфальтобетона.



Пенетрометр автоматический для нефтебитумов АПН-360МГ4

АПН-360МГ4 предназначен для определения глубины проникания иглы (пенетрации) в испытуемый образец при заданных нагрузке и температуре по ГОСТ 33136 и ГОСТ 11501, в соответствии с МИ 2418.



Пенетрометр грунтовый ПСГ-МГ4

ПСГ-МГ4 предназначен для ускоренного контроля качества уплотнения грунта, а также прочностных характеристик грунтов земляного полотна - угла внутреннего трения, удельного сцепления, а так же определения плотности песчаных грунтов.



Измеритель температуры размягчения нефтебитумов по методу кольца и шара ИКШ-МГ4

ИКШ-МГ4 предназначен для определения температуры размягчения нефтебитумов по ГОСТ 11506, ГОСТ 32054, ГОСТ 33142, в соответствии с МИ 2418. Предусмотрено одновременное испытание до трех образцов. Остановка испытаний автоматическая, с занесением результата в архив прибора.



Плотномер асфальтобетона ПА-МГ4

ПА-МГ4 предназначен для контроля качества асфальтового дорожного полотна. Диапазон измерения плотности - от 1900 до 2700 кг/м³

ООО «СКБ Стройприбор»:

г. Челябинск, ул. Калинина, 11 «Г», 454084, г. Челябинск, а/я 8538
тел./факс: в Челябинске +7 (351)277-8-555; в Москве +7 (495) 134-3-555
e-mail: info@stroypribor.ru, www.stroypribor.com