

УДК 658.563:665.71

Канд. техн. наук А. Г. ГОДНЕВ

Разработка способа повышения достоверности учета нефтепродуктов при проведении учетных операций на топливных складах

Аннотация. Градуировочная характеристика резервуара является одной из важнейших метрологических характеристик в процессе проведения учетно-расчетных операций с нефтепродуктами, в том числе выполняемых и при эксплуатации ЕАСУ ДТ. Каждые пять лет в соответствии с ГОСТ 8.570–2000 все резервуары нефтебаз, буровых насосов (НБ) и автомобильные заправочные станции (АЗС), включая топливные склады ОАО «РЖД», должны подлежать периодической градуировке. Пластические необратимые деформации, утонение стенок резервуаров, происходящие в процессе их ржавления, просадка днища и т. п. приводят к значительным изменениям их градуировочной характеристики, что в конечном счете может привести к значительной погрешности в момент проведения учетных операций при инвентаризации, при сдаче операторами своих смен и ко многим другим нежелательным явлениям.

Предлагаемый автором способ автоматической градуировки резервуаров с помощью топливораздаточной колонки в режиме штатной работы топливного склада позволяет повысить точность и достоверность градуировки, сократить сроки и снизить затраты на ее проведение. Применение данного способа и реализующего его устройства позволяет неконтролируемую систематическую погрешность колонки перевести в разряд случайных, а по мере набора статистических данных уменьшить суммарную погрешность колонки с $\pm 0,25\%$ практически до $\pm 0,05\%$.

Ключевые слова: градуировка; топливно-раздаточная колонка; точность; достоверность; штатный режим работы объекта

С 2013 года на топливных складах ОАО «РЖД» начался процесс внедрения единой автоматизированной системы учета дизельного топлива (ЕАСУ ДТ), призванной с высокой точностью учитывать поступающее и расходуемое дизельное топливо для нужд ОАО «РЖД». Пилотными стали Красноярская [1] и Горьковская железные дороги. В число основных метрологических характеристик в процессе проведения учетно-расчетных операций с нефтепродуктами (НП), в том числе выполняемых и при эксплуатации ЕАСУ ДТ, безусловно, входит градуировочная характеристика резервуаров [2].

Обычно первично градуировочную характеристику резервуаров, в частности, на АЗС получают с помощью передвижной измерительно-градуировочной лаборатории (ПИГЛ). Процесс градуировки заключается в установке в резервуар датчика уровня с абсолютной погрешностью не хуже ± 1 мм, расходомера, с помощью которого измеряется объем закачанного или

слитого НП или воды. Вычислительная машина с аттестованной программой обрабатывает поступающую на ее входы информацию с датчиков — объем (уровень) нефтепродукта и по опорожнению или наполнению резервуара ПЭВМ производит расчет его градуировочной характеристики [1–3].

В соответствии с законами метрологии средства измерений, вышедшие с завода, должны как минимум в два раза иметь меньшую суммарную погрешность, чем та, которая указывается в его паспортных данных. Это необходимо для того, чтобы в процессе пятилетней эксплуатации суммарная погрешность градуировочной характеристики не превысила своего предельного значения $\pm 0,2\%$. Однако в соответствии с законами теории вероятности для достижения погрешности $\pm 0,1\%$ резервуар необходимо пролить 15 раз при доверительной вероятности $P_d = 0,95$. На практике же резервуар проливают один раз, так как это дорогостоящая процедура, и в градуировочных таблицах просто не указывают получаемую при этом величину P_d . В то же время несложно оценить, что при однократной проливке при $P_d = 0,95$ суммарная погрешность составляет величину $\pm 0,4\%$.

Градуировка вертикальных резервуаров, предназначенных для хранения НП, в большинстве случаев выполняется в соответствии с ГОСТ 8.570–2000 геометрическим способом, поскольку проливка резервуаров РВС-5000, РВС-10000 даже водой — это процесс, который сопровождается большими временными и финансовыми затратами. Но без проливки, без учета пластических деформаций, которые происходят в резервуаре в процессе его нагружения, получить суммарную погрешность градуировочной характеристики $\pm 0,1\%$ его вместимости практически невозможно.

Внутренняя синхронизация отпуска НП резервуар — топливно-раздаточная колонка (ТРК) или автоматический стояк налива (АСН), через которые НП отпускаются в локомотивы и иную технику, обеспечивает надежный непрерывный контроль градуировочной характеристики резервуара и метрологических характеристик узла учета ТРК, АСН. Например, если в осенне-зимний период происходит подвижка грунта, то возможны изменения наклона как горизонтальных, так и вертикальных резервуаров. В свою очередь

ТРК или АСН с возникновением морозов или, наоборот, высокой температуры окружающей среды может начать либо переливать, либо недоливать эксплуатирующей организации НП с завышенной погрешностью отпуска.

Непрерывный контроль в реперных точках резервуара режима совпадения объема НП, ушедшего из резервуара, и объема, прошедшего через узел учета ТРК или АСН, позволит оперативно выявлять возникающие по тем или иным причинам расхождения и также оперативно их устранять. Такой режим синхронной работы резервуара с узлом учета ТРК (АСН) при отпуске НП исключает возможность накопления значительных величин дебаланса на межинвентаризационном промежутке, вызванного воздействием различных дестабилизирующих факторов на работу оборудования.

Для решения вышеизложенной проблемы автором был предложен способ и реализующее его устройство автоматической градуировки резервуаров на АЗС и НБ [1].

Ожидаемый технический эффект заключается в повышении точности и надежности получаемых результатов процесса градуировки, а также за счет исключения из него оборудования и средств, не участвующих

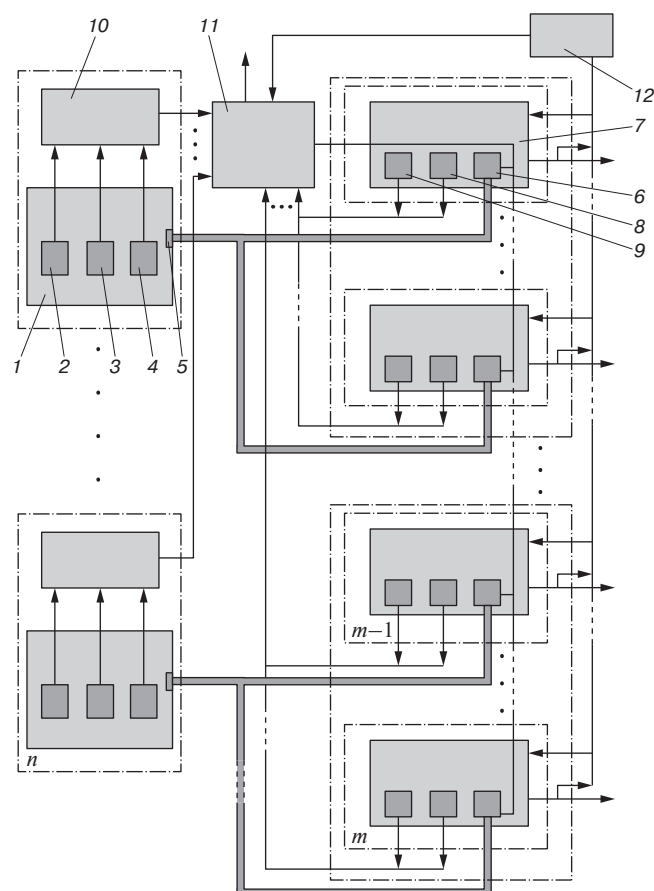
в штатной работе АЗС и НБ, в возможности производить градуировку одновременно сразу нескольких резервуаров или всех резервуаров, АЗС и НБ, находящихся в эксплуатации, что значительно снижает затраты и сроки на проведение градуировки.

Для реализации способа автором было разработано устройство, блок-схема которого представлена на рисунке.

Устройство состоит из резервуара 1, внутри которого по высоте устанавливается датчик уровня 2 с абсолютной погрешностью $\pm 0,5$ мм, датчик температуры 3, расположенный перед заборным устройством 4, насос 5, подающий НП через штатные ТРК или АСН 6 потребителю, в которых установлен объемный счетчик 7 и датчик температуры ТРК или АСН 8, блока преобразователей 9, вычислительного блока 10 и объемного мерника 11, а также ПЭВМ 12.

Устройство работает следующим образом. В резервуар 1 заливается поступающий на НБ или АЗС НП. Резервуар заполняется до величины уровня влива $H_{\max}$, которая, как правило, составляет 95% объема резервуара. Затем через заборное устройство 5 и насос 6 НП поступают в ТРК или АСН для заправки потребителя в штатном режиме. При этом объем отпускаемого потребителю НП фиксирует объемный счетчик 7, показания которого вместе с показаниями датчика температуры ТРК или АСН 8 передаются на вход вычислительного блока 10. Выходные сигналы датчика уровня 2 и датчика температуры 3 поступают на соответствующие входы блока преобразователей 9, с выхода которого объединенный сигнал поступает на вход вычислительного блока 10, в котором эта информация обрабатывается при помощи программы с учетом данных резервуаров, заложенных в вычислительный блок заранее, и в виде выходных сигналов управления поступает на остановку либо включение насоса 5. На третий вход вычислительного блока 10 три раза в сутки поступает информация с объемного мерника 11 относительно ежесуточной систематической составляющей погрешности ТРК или АСН.

В свою очередь, практическую реализацию способа осуществляют следующим образом. Резервуар, подлежащий градуировке, наполняют НП до максимально допустимой величины влива $H_{\max}$. В вычислительном блоке 10 фиксируют показания счетчика или счетчиков, если этот резервуар обслуживает несколько ТРК или АСН, работающих с поверяемым резервуаром. На этом заканчивается этап предварительной подготовки устройства к градуировке резервуара, и сама градуировка производится при штатной работе ТРК или АСН во время отпуска НП потребителям во время штатной работы АЗС или НБ. Отпуск НП из градуируемого резервуара производится через одну или несколько ТРК или АСН последовательно или параллельно суммарной дозой, равной приблизительно



Блок-схема устройства, реализующего способ автоматической градуировки резервуаров через топливно-раздаточную колонку

изменению уровня в резервуаре на 10–40 мм до фиксированной единицы измерения уровня. После чего отпуск с поверяемого резервуара прерывается приблизительно на 2 мин для успокоения колебаний поверхности НП в резервуаре после срабатывания отсечных клапанов ТРК или АСН, и затем показания средств измерений объемного счетчика 7, датчика температуры 8, датчика уровня 2 и датчика температуры 4 опять поступают в запоминающее устройство вычислительного блока 10. По окончании временной паузы отпуск НП из поверяемого резервуара опять возобновляется через одну или несколько ТРК или АСН последовательной или параллельной суммарной дозой до следующей фиксированной единицы измерения уровня. Процедура отпуска и прерывания производится таким образом до достижения уровня НП в резервуаре, равного значению $H_{\min}$. При достижении уровня НП в резервуаре значения $H_{\min}$ вычислительный блок 10 по определенной программе производит расчет градуировочной характеристики резервуара.

Применительно к работе топливных складов ОАО «РЖД» предложенный способ может быть использован не только для периодической градуировки всего объема резервуара по истечении 5-летнего периода, но и для градуировки так называемого эксплуатационного уровня объема резервуара [4, 5].

На практике автоматическая градуировка резервуаров сопряжена с преодолением ряда проблем, а именно: при передаче единицы измерений от эталонных средств измерений рабочим погрешность эталонных средств должна превосходить погрешность рабочих в 2–3 раза [6, 7]. В то же время ТРК или АСН имеет относительную суммарную погрешность измерения величины объема расхода $\pm 0,2\%$. Таким образом, чтобы отградуировать резервуар также с относительной погрешностью $\pm 0,2\%$, относительная погрешность объемного расходомера должна быть на уровне $\pm 0,06\%$. Проводя оценку погрешности результата, получаемого при статистической обработке многократных отсчетов, нужно помнить о том, что при усреднении уменьшаются лишь случайные погрешности, в то время как систематическая погрешность, присутствующая во всех усредненных отсчетах, остается без изменений.

Преимущество предлагаемого способа заключается в переводе систематической погрешности в разряд случайных, что позволяет уменьшить суммарную погрешность расходомера ТРК или АСН по мере набора статистики практически до величины погрешности мерника 2-го разряда, т. е. до $\pm 0,05\%$. Известно [8], что неисключенная систематическая погрешность в каждой группе из усредненных отсчетов принимает случайное значение, в связи с чем она приобретает все свойства случайной величины и суммирование ее с другими случайными погрешностями должно

производиться по правилам, принятым для суммирования случайных погрешностей, т. е. с учетом того, что результаты калибровки ТРК или АСН с помощью мерника между собой не коррелированы, то согласно [8] их суммарная погрешность в процессе градуировки резервуара может быть уменьшена в 2,24–3,16 раза соответственно при числе полного опорожнения резервуара $n = 5 \div 10$ раз.

Способ автоматической градуировки резервуаров с помощью топливораздаточных колонок при работе АЗС в штатном режиме связан с деятельностью так называемых систем массового обслуживания. Вполне понятно, поскольку поток заправляемых автомашин на той или иной НБ или АЗС носит случайный характер, то и процесс функционирования системы массового обслуживания также представляет собой случайный процесс. Случайный процесс, протекающий в системе массового обслуживания, состоит в том, что система в случайные моменты времени переходит из одного состояния в другое, т. е. в нашем случае уровень в резервуаре от одного устойчивого значения до другого изменяется в зависимости от того, какое число машин в настоящий момент из данного резервуара заправляется, какой суммарный объем нефтепродукта ими был затребован.

Известно, что при суммировании большого числа ординарных, стационарных потоков с практически любым последствием получается поток, сколь угодно близкий к простейшему. Условия, которые должны для этого соблюдаться, аналогичны условиям центральной предельной теоремы, а именно: складываемые потоки должны оказывать на сумму приблизительно равномерно малое влияние.

Известно, что поток событий называется стационарным, если вероятность попадания того или иного числа событий на участок времени длиной τ (для нашего случая на участок изменения уровня h) зависит только от длины участка и не зависит от того, где именно на оси $0t$ расположен этот участок.

Поток событий называется потоком без последствия, если для любых неперекрывающихся участков времени число событий, попадающих на один из них, не зависит от числа событий, попадающих на другие.

Ординарным называется поток событий, вероятность попадания которого на участок Δh или за его пределы пренебрежимо мала по сравнению с вероятностью попадания одного события.

Если поток событий обладает всеми тремя вышеперечисленными свойствами, то он называется простейшим (или стационарным пуассоновским) потоком [9, 10].

Таким образом, число точек изменения величины уровня в зависимости от объема отпущенного нефтепродукта Δh распределено по закону Пуассона с математическим ожиданием

$$a = \lambda \Delta h, \quad (1)$$

где λ — плотность потока (среднее число событий, приходящихся на единицу длины уровня взлива нефтепродукта).

Вероятность того, что на интервале Δh окажется m событий, равна

$$P_m(\Delta h) = \frac{(\lambda \Delta h)^m}{m!} e^{-\lambda \Delta h}. \quad (2)$$

Вероятность того, что участок Δh окажется пустым (не произойдет ни одного события), будет

$$P_0(\Delta h) = e^{-\lambda \Delta h}. \quad (3)$$

Для обеспечения заданной погрешности градуировочной характеристики резервуара с заданной доверительной вероятностью требуется опорожнить резервуар 9–10 раз. К примеру, совершенно очевидно, что заявки на экипировку локомотивов поступают на топливный склад независимо друг от друга (условие независимости после действия) и поодиночке (условие ординарности), что является условием простого потока. Кроме того, при суммировании (взаимном наложении) большого числа ординарных, стационарных потоков с практически любым потоком последствия получается поток, сколь угодно близкий к простейшему. На практике обычно оказывается достаточно сложить 4–5 потоков, чтобы получить поток, с которым можно оперировать как с простейшим.

Рассмотрим на практическом примере процедуру автоматической градуировки резервуара РВС-1000 при максимальном уровне взлива $H = 10\,000$ мм и средней величине отпускаемого объема дизтоплива в локомотив $V = 8$ м³. В этом случае по уровню взлива H получим m точек отсчета

$$m = \frac{1000 \text{ м}^3}{8 \text{ м}^3} = 125 \text{ точек (событий)}.$$

Соответственно при десятикратном опорожнении резервуара, учитывая факт случайности объема отпускаемых доз от одного до другого события, получим m' точек отсчета

$$m' = m \cdot 10 = 125 \cdot 10 = 1250 \text{ точек}.$$

В данном случае плотность потока (среднее число событий, приходящихся на единицу уровня взлива)

$$\lambda = \frac{m'}{H} = \frac{1250 \text{ соб}}{10000 \text{ мм}} = 0,125 \text{ соб/мм}.$$

Вероятность того, что на участке $\Delta h = 100$ мм не произойдет ни одного события, будет равна

$$P_0(\Delta h) = e^{-\lambda \Delta h} = 2,718^{-0,125 \cdot 100} = \frac{1}{2,718^{+12,5}} \approx 0.$$

В свою очередь, вероятность того, что на интервале Δh произойдет одно событие

$$P_m(\Delta h) = 1 - e^{-a} \approx 1 - 0 \approx 1.$$

Из приведенного примера следует, что при экипировке локомотивов меньшими объемами доз дизтоплива число градуировочных точек будет возрастать, а следовательно, точность и достоверность градуировочной характеристики будет еще выше.

Вывод. 1. Разработанный способ автоматизированной градуировки резервуара позволяет производить градуировку вертикальных и горизонтальных резервуаров, находящихся в эксплуатации на топливных складах ОАО «РЖД», с использованием штатного нефтепродукта.

2. Имеется возможность осуществлять градуировку части резервуара, ограниченного эксплуатационным уровнем наличия нефтепродукта, в реальном режиме работы топливного склада.

3. При осуществлении предложенного способа неконтролируемая систематическая погрешность топливно-раздаточной колонки, через которую отпускается нефтепродукт потребителю, переводится в разряд случайных и по мере набора статистики уменьшается с $\pm 0,25$ до $\pm 0,05\%$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ретер И.И. Опыт эксплуатации системы учета дизельного топлива // Железнодорожный транспорт. 2015. № 3. С. 36–38.
2. Годнев А.Г., Науменко С.Н. Коммерческий учет нефтепродуктов на топливных складах ОАО «РЖД» // Вестник ВНИИЖТ. 2010. № 5. С. 44–47.
3. Способ градуировки резервуаров и устройство для его осуществления: патент Российской Федерации № 2178153 / А.Г. Годнев [и др.]. Оpubл. 10.01.2002 г., бюл. № 1.
4. Способ калибровки резервуаров: патент на изобретение № 2314501. ФИПС Роспатент / Э.Н. Шенкман [и др.]. Оpubл. 10.01.2008 г., бюл. № 1.
5. Способ калибровки резервуаров: патент на изобретение № 2393439. ФИПС Роспатент / Э.Н. Шенкман [и др.]. Оpubл. 27.06.2010 г., бюл. № 18.
6. Сергеев А.Г., Терегер В.В. Метрология, стандартизация и сертификация М.: Юрайт, 2010. 820 с.
7. Шишкин И.Ф. Теоретическая метрология. Ч. 1. Общая теория измерений: учеб. для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. СПб.: Питер, 2010. 192 с.
8. Новицкий П.В., Зогграф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. Л.: Энергоатомиздат, 1991. 304 с.
9. Хинчин А.Я. Математические методы теории массового обслуживания. М.: Издательство Академии наук СССР, 1955. 124 с.
10. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Академия, 2005. 576 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

ГОДНЕВ Александр Геннадьевич,
генеральный директор ООО «Научно-технический центр
информационно-измерительной техники».
141074, Московская обл., Королев, Пионерская ул., д. 2.
Тел.: (498) 628-06-36.
E-mail: ntc-korolev@yandex.ru

Development of Credibility Enhancement Method of Oil Products Metering at the Fuel Storage Depots

Alexander G. Godnev, Candidate of Technical Science, Director General, Scientific and Technical Center for Information-Measuring Equipment Ltd. 2, Pionerskaya str., 141074 Korolyov, Moskovskaya Oblast', Russian Federation. Tel.: +7 (498) 628 0636. E-mail: ntc-korolev@yandex.ru

Abstract. Tank calibration curve proves to be one of the most important characteristics in the context of oil products related metering and calculation operations inclusive of those performed in the environment of Unified Automated Accounting System of Diesel Fuel and Other Oil Products (EASU DT). In accordance with GOST 8.570–2000 all the petroleum storage reservoirs of petroleum depots (inclusive of JSC RZD fuel storage depots), boring pumps and fuel-filling stations shall be calibrated every fifth year. Nonreversible plastic deformation of reservoirs, thinning of their walls due to rusting, sagging of bottoms etc. lead to considerable calibration curve variations and possibly to errors of significance during performance of metering operations in the course of stocktaking and operators changeover as well as to other sort adverse effects.

The proposed automatic method of reservoir calibration making use of fuel dispenser under conditions of routine operation of fuel storage depot contributes to better accuracy and credibility of calibration, reduction in its timing and corresponding costs. Application of such method and equipment allows to interpret unmanageable systematic error of the fuel dispenser as a random one and (with more statistics available) to reduce resulting error of fuel dispenser from $\pm 0.25\%$ practically up to $\pm 0.05\%$.

Keywords: calibration; fuel dispenser; accuracy; credibility; object routine operation

References

1. Reger I. I. Opyt ekspluatatsii sistemy ucheta dizel'nogo topliva [Experience in operating of accounting systems

of diesel fuel]. Zheleznodorozhnyy transport, 2015, no. 3, pp. 36–38.

2. Godnev A. G. et al. Naumenko S. N. Kommercheskiy uchët nefteproduktov na toplivnykh skladakh OAO 'RZHD' [Commercial accounting of petroleum products at fuel depots of OAO 'Russian Railways']. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 2010, no. 5, pp. 44–47.

3. Godnev A. G. RF Patent № 2178153. The method of calibration of tanks and device for its realization. Moscow. Publ. Jan. 10, 2002. (in Russ.)

4. Shenkman E. N. et al. Patent № 2314501. A method for calibrating tanks. Moscow. Publ. Jan. 10, 2008. (in Russ.)

5. Shenkman E. N. et al. Patent № 2393439. A method for calibrating tanks. Moscow. Publ. June 27, 2010. (in Russ.)

6. Sergeev A. G., Teregeriya V. V. Metrologiya, standartizatsiya i sertifikatsiya [Metrology, standardization and certification]. Moscow, Yurayt Publ., 2010. 820 p.

7. Shishkin I. F. Teoreticheskaya metrologiya. Ch. 1. Obshchaya teoriya izmereniy [Theoretical metrology. Pt 1. General theory of measurement]. St. Petersburg, Piter Publ., 2010. 192 p.

8. Novitskiy P. V., Zograf I. A. Otsenka pogreshnostey rezul'tatov izmereniy [Evaluation of errors of measurement results]. Leningrad, Energoatomizdat Publ., 1991. 304 p.

9. Khinchin A. Ya. Matematicheskie metody teorii massovogo obsluzhivaniya [Mathematical methods of queuing theory]. Moscow, USSR Acad. of Sciences Publ., 1955. 124 p.

10. Venttsel' E. S. Teoriya veroyatnostey [Probability theory]. Moscow, Nauka Publ., 2005. 576 p.

ВЫШЛИ В СВЕТ ТРУДЫ ВНИИЖТ

Дыдышко П. И. Земляное полотно железнодорожного пути. Справочник: науч. тр. ОАО «ВНИИЖТ». М.: Интекст, 2014. 416 с.

Изложены справочные данные и научное обоснование обеспечения стабильности земляного полотна железнодорожного пути, включая инновационные решения, на основе исследований процессов тепло-массо-переноса в грунтах. Представлено неизвестное ранее термоэлектродинамическое явление, обуславливающее перенос влаги в капиллярных анизотермических системах, который

влияет на несущую способность и устойчивость основания пути. Материалы справочника включают в себя порядок проведения инженерных изысканий, методы расчетов, конструкции земляного полотна новых линий, дополнительных главных путей и усиления (реконструкции) эксплуатируемых линий. Рассмотрены объекты в различных инженерно-геологических условиях. Приведены порядок содержания земляного полотна, правила приемки объектов в эксплуатацию и правила охраны окружающей среды.

Тюрнин П. Г., Тибилов А. Т., Миронос Н. В. Токосъем: надежность, экономичность и пути совершенствования. М.: ВМГ-Принт, 2015. 166 с.

В книге рассмотрены наиболее важные вопросы токосъема с учетом требований и методов проверки отдельных элементов контактной сети и токоприемников, эксплуатируемых при высокоскоростном движении. Подробно изложены отдельные решения экономичности и надежности устройств.

Книга рассчитана на широкий круг читателей: железнодорожников, уже имеющих общую подготовку и практический опыт работы на контактной сети и в локомотивном хозяйстве, работников предприятий — изготовителей электроподвижного состава, а также преподавателей и студентов транспортных вузов, техникумов и колледжей.

По вопросам предварительного заказа на приобретение книг обращайтесь в редакционно-издательский отдел ОАО «ВНИИЖТ», тел. (499) 260-43-20.