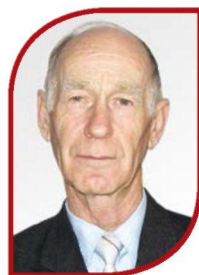




**Валерий Александрович
Сисин**

Valery A. Sisin



**Ростислав Васильевич
Гнитько**

Rostislav V. Gnitko

Исследование граничных условий работоспособности РЦ с коммутацией релейного конца

Study of Boundary Conditions of Track Circuits' Operational Capability with Relay End Switching

Аннотация

Рассмотрены вопросы граничных условий работоспособности рельсовых цепей с коммутацией релейного конца, у которых нормальный режим работы характеризуется импульсным потреблением сигнального тока на питающем конце. Доказано, что выходное сопротивление аппаратуры питания рельсовой цепи и входное сопротивление релейного конца оказывают существенное влияние на параметры выделяемого сигнала, что необходимо учитывать при проектировании данных рельсовых цепей для конкретных условий применения.

Ключевые слова: рельсовая цепь, рельсовая линия, переездная сигнализация, железнодорожный переезд.

Abstract

The problems of boundary conditions of track circuits' operational capability with relay end switching are addressed, where normal operation mode is characterized by pulse consumption of signal current at the feed end. It is proved that output impedance of the track circuit supply equipment and input impedance of relay end have a significant effect on the parameters of emitted signal which must be taken into account in the design of these track circuits for specific application needs.

Keywords: track circuit, rail line, crossing signaling, railway crossing.

Авторы Authors

Валерий Александрович Сисин, канд. техн. наук, кафедра «Электрические машины» Уральского государственного университета путей сообщения, Екатеринбург, Россия; e-mail: VSisin@usurt.ru | Ростислав Васильевич Гнитько, руководитель группы научных исследований НПЦ «Промэлектроника» при Уральском государственном университете путей сообщения, Екатеринбург, Россия; e-mail: Gnitko_R@prcprom.ru

Valery A. Sisin, PhD in Engineering, Department «Electric Machinery», Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, Russia; e-mail: VSisin@usurt.ru | Rostislav V. Gnitko, Head of Research Group of SPC «Promelectronica», Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, Russia; e-mail: Gnitko_R@prcprom.ru

Железные дороги являются основным и наиболее безопасным видом грузового и пассажирского транспорта на территории России. В настоящее время общая протяженность российских железных дорог составляет 86,151 тысяч км. В то же время рост количества автодорог и автотранспортных средств приводит к увеличению случаев дорожно-транспортных происшествий с участием железнодорожного транспорта.

Основное количество крушений и аварий с участием железнодорожного транспорта (25 %) вызывается наездами поездов на грузовой и пассажирский автомобильный транспорт при пересечении железнодорожных путей [1].

На сети железных дорог Российской Федерации насчитывается 11 248 переездов. В зависимости от интенсивности движения поездов и транспортных средств все переезды разделяются на четыре категории [2]. На переездах I категории осуществляется наибольшая интенсивность движения транспортных средств и поездов. Соответственно, переезды последней IV категории — это переезды малодеятельных участков (рис. 1) [1].

В направлении движения автотранспорта переезды оборудуются постоянно действующими средствами ограждения. Для этой цели применяются автоматические переездные сигнализации (АПС) со шлагбаумами и без них.

Несмотря на проводимую железными дорогами работу [3], обеспечение безопасности движения на переездах остается неудовлетворительным. Ежегодно регистрируется порядка 263 дорожно-транспортных происшествий с участием железнодорожного подвижного состава, при которых погибают и получают травмы более 300 человек. Как видно из рис. 2, количество ДТП на неохраемых переездах составляет 88 % от общего количества ДТП [1].

Проблема обеспечения безопасности движения на пересечениях автомобильных дорог и железно-



Рис. 1. Распределение переездов по категориям на конец 2010 года



Рис. 2. Количество ДТП на железнодорожных переездах России

◆ — всего; ■ — переезды с дежурными; ▲ — переезды без дежурных

рожных путей может быть решена расположением их в разных уровнях, то есть путем устройства тоннелей или путепроводов. Однако темпы их строительства достаточно сильно отстают от намеченных планов. Так, согласно программе ОАО «РЖД» на период 2006–2010 гг. по повышению безопасности движения на переездах, планировалось построить 118 путепроводов. В результате реализовано только 19,5 % проектов (рис. 3) [1]. Такая обстановка связана в большей степени со значительными экономическими затратами на строительство, в связи с чем использование на переездах АПС будет еще долгое время оставаться одним из эффективных средств защиты.

Своевременное закрытие железнодорожного переезда от при-

ближающегося поезда решается с помощью различных технических устройств. Абсолютное большинство из них на сети дорог ОАО «РЖД» — это рельсовые цепи (РЦ). Длина РЦ рассчитывается из максимальной скорости движения поезда для данного участка и определяет длину участка приближения. Между тем, для контроля участков, где нет автоблокировки, может отсутствовать высоковольтно-сигнальная линия, необходимая для функционирования РЦ АПС. Строительство данных коммуникационных линий может достигать половины общей стоимости внедрения АПС. Поэтому возникает необходимость в разработке и изучении устройств нового типа, обладающих минимальными капитальными вложениями.

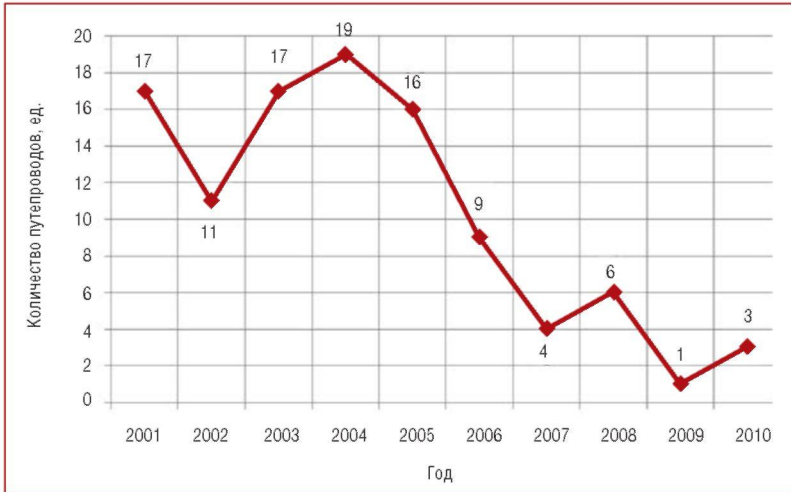


Рис. 3. Темпы строительства путей в России

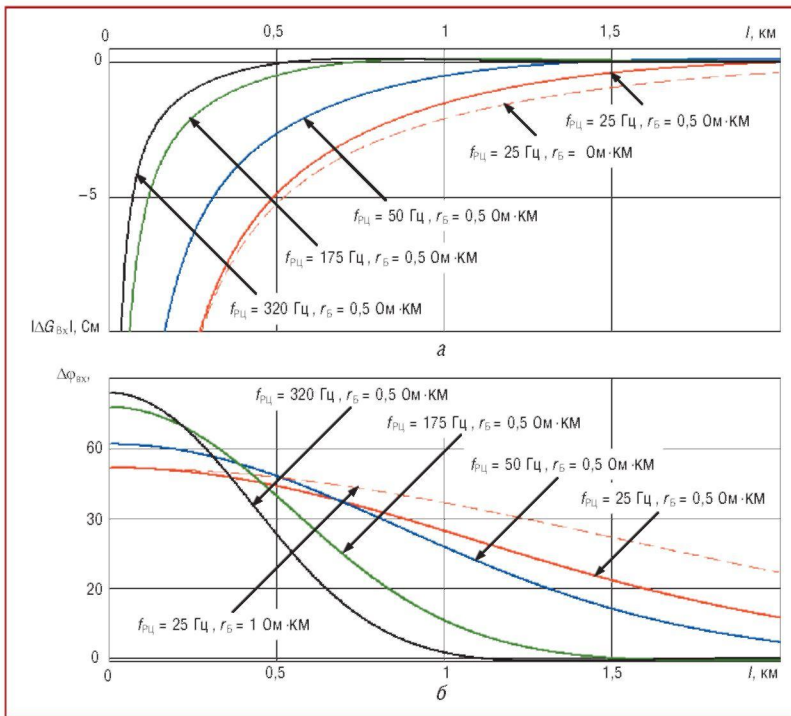


Рис. 4. Зависимость величин разности модуля (а) и фазы (б) входной проводимости при изменении состояния РЛ с холостого хода на короткое замыкание

К таким рельсовым цепям можно отнести РЦ с коммутацией релейного конца [4–6]. РЦ нового типа не требует кабельной инфраструктуры вдоль рельсового пути. В начале контролируемого участка устанавливаются генератор напряжения и схема анализа параметров входного тока, а на конце — схема коммутации, периодически замыкающая рельсовую линию (РЛ) и вызывающая импульсное потреб-

ление входного тока в нормальном режиме работы РЦ. Энергии, поступающей на схему релейного конца от источника РЦ, вполне достаточно для электропитания малоомощного МОП транзисторного ключа, осуществляющего замыкание и размыкание РЦ. Шунтовой режим данной РЦ характеризуется отсутствием импульсного потребления входного тока за счет шунтирования схемы коммутации релейного

конца колесными парами подвижного состава, вступившего на участок приближения.

Поскольку РЦ — это электрическая цепь с распределенными параметрами, то значение динамически изменяющейся величины входного тока будет зависеть в первую очередь от входных параметров РЛ, а также от частоты сигнального тока, подаваемого в РЦ. Соответственно, разность модулей входных проводимостей РЛ в состояниях холостого хода и короткого замыкания, определяющая скачок амплитуды тока, будет найдена из выражения:

$$|\Delta G_{вх}| = |G_{вх,хх}| - |G_{вх,кз}| = \left| \frac{\text{th}(\gamma l)}{Z_b} \right| - \left| \frac{\text{cth}(\gamma l)}{Z_b} \right| \quad (1)$$

Скачок фазы будет определяться из выражения:

$$\Delta \varphi_{вх} = \varphi_{вх,хх} - \varphi_{вх,кз} = \arg \left(\frac{\text{th}(\gamma l)}{Z_b} \right) - \arg \left(\frac{\text{cth}(\gamma l)}{Z_b} \right) \quad (2)$$

где Z_b, g — вторичные параметры рельсовой линии, зависящие от ее поперечных и продольных сопротивлений (сопротивления балласта и рельсовой петли соответственно), l — длина РЦ.

На рис. 4 представлены зависимости согласно уравнениям (1) и (2). Исходя из полученных $|\Delta G_{вх}|$ и $\Delta \varphi_{вх}$, чем ниже частота сигнального тока, тем большая длина РЦ достигается, и величины изменения модуля проводимости и аргумента в этом случае имеют большие значения, что позволяет их выделить стандартными методами на этих длинах.

Кроме параметров РЛ на величины $|\Delta G_{вх}|$ и $\Delta \varphi_{вх}$ будет оказывать затухающее влияние ограничивающее сопротивление, защищающее аппаратуру питающего конца от короткого замыкания в случае нахождения подвижной единицы в непосредственной близости от нее. Также влияние будет оказывать и эквивалентное сопротивление аппаратуры релейного конца.

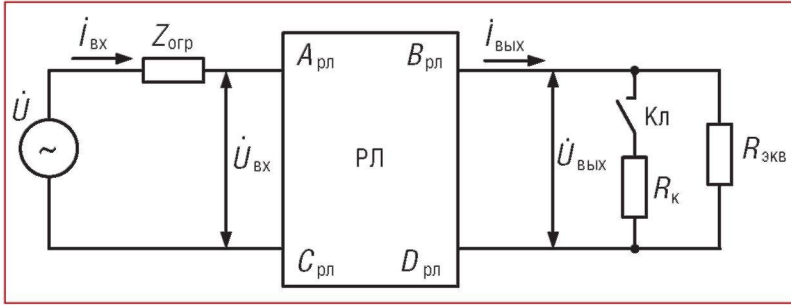


Рис. 5. Схема замещения РЦ участка с коммутацией релейного конца

Для расчета данных зависимостей представим схему замещения РЦ с коммутацией релейного конца, как показано на рис. 5.

В этом случае модуль и аргумент входной проводимости РЦ при коммутации примут вид:

$$|\Delta G'_{\text{вх}}| = \left| \frac{1}{\frac{R_{\text{экв}} \operatorname{ch}(\gamma l) + Z_{\text{в}} \operatorname{sh}(\gamma l)}{R_{\text{экв}} \operatorname{sh}(\gamma l) + \operatorname{ch}(\gamma l)} + Z_{\text{огр}}} \right| - \left| \frac{1}{\frac{R_{\text{к}} R_{\text{экв}} \operatorname{ch}(\gamma l) + Z_{\text{в}} \operatorname{sh}(\gamma l)}{R_{\text{к}} + R_{\text{экв}}} + Z_{\text{огр}}} \right| \quad (3)$$

$$\Delta \varphi'_{\text{вх}} = \arg \left(\frac{1}{\frac{R_{\text{экв}} \operatorname{ch}(\gamma l) + Z_{\text{в}} \operatorname{sh}(\gamma l)}{R_{\text{экв}} \operatorname{sh}(\gamma l) + \operatorname{ch}(\gamma l)} + Z_{\text{огр}}} \right) - \arg \left(\frac{1}{\frac{R_{\text{к}} R_{\text{экв}} \operatorname{ch}(\gamma l) + Z_{\text{в}} \operatorname{sh}(\gamma l)}{R_{\text{к}} + R_{\text{экв}}} + Z_{\text{огр}}} \right) \quad (4)$$

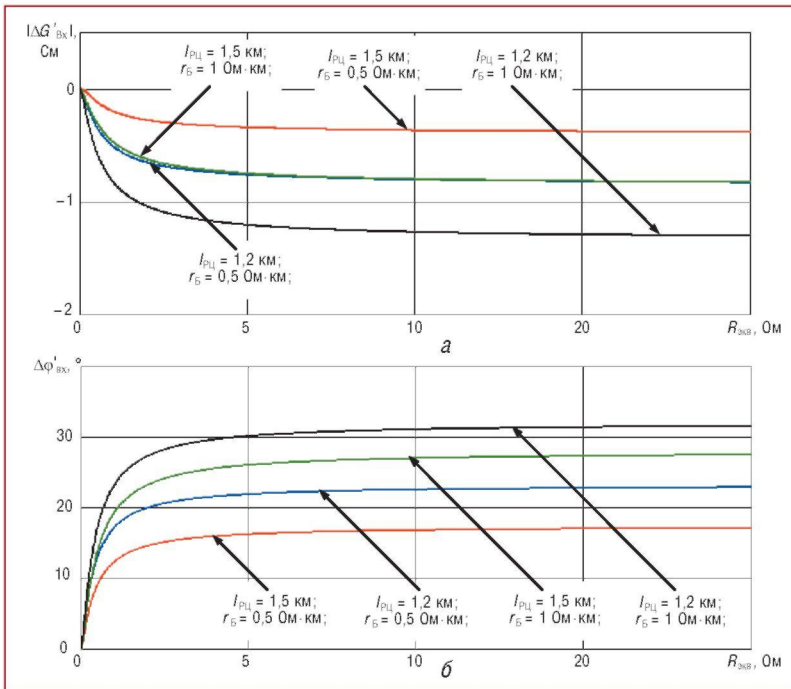


Рис. 6. Зависимость $|\Delta G'_{\text{вх}}|$ (а) и $\Delta \varphi'_{\text{вх}}$ (б) от эквивалентного сопротивления, $f_{\text{РЦ}} = 25 \text{ Гц}$, $Z_{\text{огр}} = 0$

Первые коэффициенты уравнений характеризуют проводимость РЦ при разомкнутом ключе, а вторые, соответственно, при замкнутом.

Сопротивление $R_{\text{к}}$ определяется суммой внутреннего сопротивления замкнутого ключа и сопротивлением соединительных проводов (в дальнейших расчетах примем $0,1 \text{ Ом}$). $R_{\text{экв}}$ представляет собой пересчитанное сопротивление схемы коммутации, характеризующее ее ток потребления при разомкнутом ключе. На рис. 6 представлены зависимости (3) и (4) от изменения $R_{\text{экв}}$.

Чем выше эквивалентное сопротивление, то есть меньшим током потребления обладает схема релейного конца, тем больше разница между составляющими входных проводимостей РЦ при работе ключа. Проработка опытного макета схемы коммутации на современной КМОП элементной базе показала, что ее потребление мощности можно реализовать менее 30 мВт , что характеризуется эквивалентным сопротивлением 7 Ом . По полученным зависимостям (рис. 6) этого сопротивления достаточно, чтобы потребление схемы не оказывало влияния на выходные параметры РЦ, а величины $|\Delta G'_{\text{вх}}|$ и $\Delta \varphi'_{\text{вх}}$ будут определяться сопротивлением балласта и длиной РЦ.

Анализ функции (3) и (4) по изменению ограничивающего сопротивления показал, что $Z_{\text{огр}}$ вносит затухание и значительно влияет на составляющие входной проводимости как по модулю, так и по фазе (рис. 7).

Выбор ограничителя должен исходить из длины РЦ и наименьшего возможного для этой РЦ сопротивления балласта, добиваясь максимального изменения входных параметров РЦ. При этом необходимо отметить, что в эквивалентной схеме замещения в сопротивление $Z_{\text{огр}}$ входит сопротивление соединительного кабеля, необходимого для подключения аппаратуры питающего конца к рельсам.

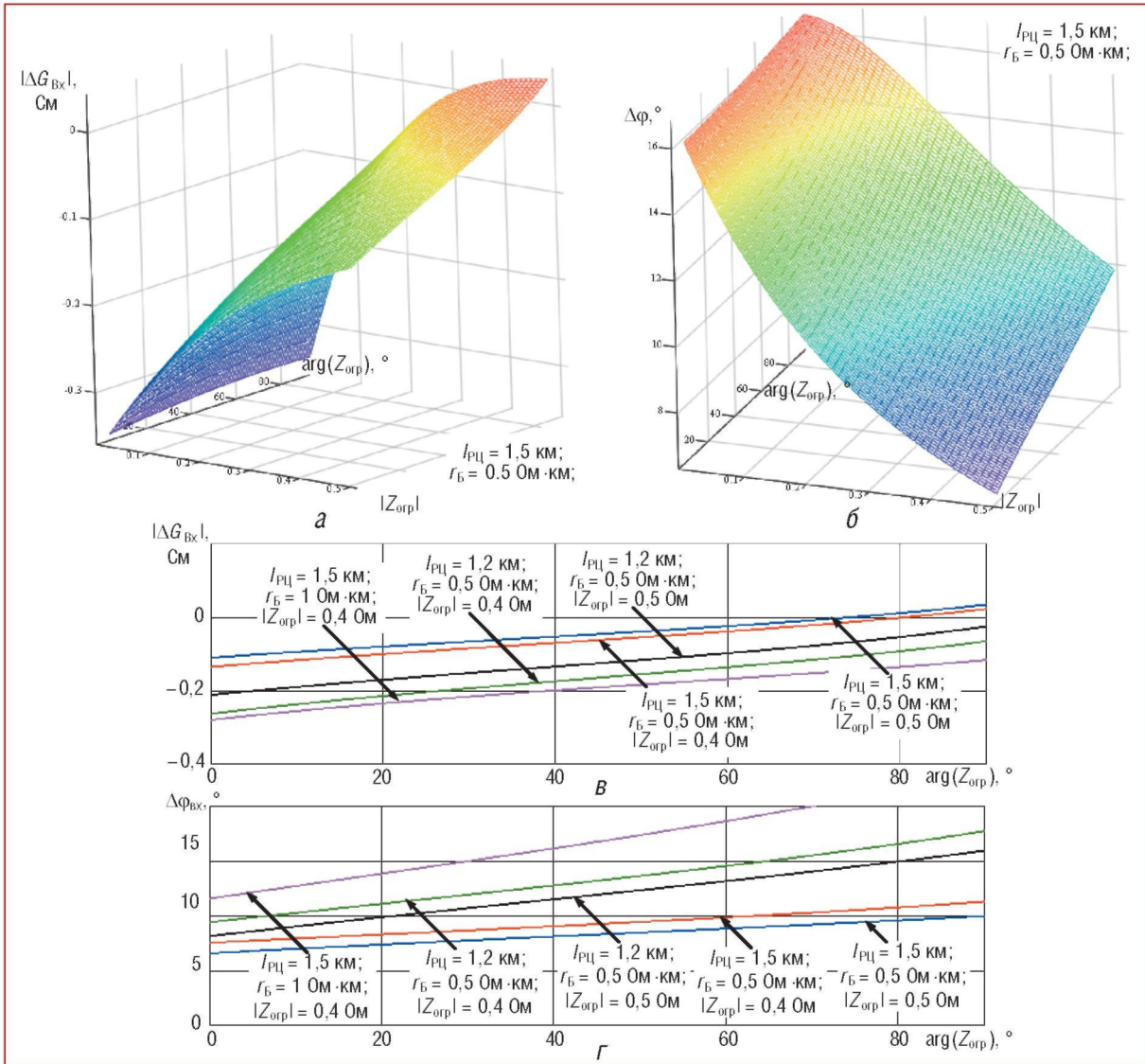


Рис. 7. Функция изменения модуля (а, в) и угла (б, г) входной проводимости при переключении ключа от модуля и угла сопротивления ограничителя. $R_{зв} = 7 \text{ Ом}$

Выводы:

1. Сопротивление аппаратуры питающего и релейного концов оказывает значительное влияние на параметры выделяемого сигнала.
2. Для уменьшения оказываемого затухания аппаратуру питающего и релейного конца необходимо располагать непосредственно у контролируемого участка.
3. Выбор ограничителя должен исходить из длины РЦ и наименьше-

го возможного для этой РЦ сопротивления балласта, добиваясь максимального изменения входных параметров РЦ.

4. Проработка опытного макета схемы коммутации на современной КМОП элементной базе показала, что ее потребление мощности можно реализовать менее 30 мВт. Согласно проведенным расчетам, этой мощности достаточно, чтобы входное сопротивление схемы коммутации не оказывало влияния на вы-

ходные параметры РЦ, а величины $|\Delta G'_{вх}|$ и $\Delta\varphi'$ определяются сопротивлением балласта и длиной РЦ.

Экспериментальное подтверждение работоспособности рассмотренных технических решений осуществлялось на различных физических моделях РЛ и натурных испытаниях на станции Шипелово Свердловской железной дороги в июле 2012 года. **ИТ**

Список литературы

1. Анализ состояния безопасности движения на железнодорожных переездах российских железных дорог за 2010 год [Электронный ресурс]. — URL: www.stavminprom.ru/download/docs/11-04-2011.doc (дата обращения: 01.08.2013).
2. Распоряжение Минтранса РФ от 30.05.2001 г. № АН-47-р «Об утверждении Инструкции по эксплуатации железнодорожных переездов на путях промышленного транспорта» [Электронный ресурс]. — URL: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=80522> (дата обращения: 01.08.2013).
3. Программа ОАО «РЖД» по повышению безопасности движения на переездах на период 2006–2010 гг. [Электронный ресурс]. — URL: http://rzd.ru/static/public/ru?STRUCTURE_ID=5128&layer_id=3290&id=3754 (дата обращения: 01.08.2013).
4. Сисин В. А. Оптимизация устройств автоматической переездной сигнализации // Транспорт Урала. — 2011. — № 3 (30). — С. 40–43.
5. Пат. 2455185. Российская Федерация, МПК В 61 L 29/24. Устройство управления переездной сигнализацией / Тильк И. Г., Гнитько Р. В., Сергеев Б. С.; заявитель и патентообладатель закрытое акционерное общество «Научно-производственный центр «Промэлектроника». — № 2010145608/11 ; заявл. 09.11.10 ; опубл. 10.07.12, Бюл. № 19.
6. Сисин В. А., Гнитько Р. В., Тильк И. Г. Исследование электромагнитной совместимости рельсовых цепей с коммутацией релейного конца с помехами электроснабжения и перспективного тягового состава // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. — 2013. — № 2. — С. 34–44.