

# СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КАЧЕСТВА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СВАРКИ

В.Н. Хмелёв, А.Н. Сливин, А.В. Шалунов, А.Д. Абрамов

Бийский технологический институт (филиал) АлтГТУ им. И.И. Ползунова, г. Бийск

В статье представлены результаты разработки специализированного стенда для проведения исследований качества восстановления изоляции. Для восстановления изоляции кабеля, и устранения повреждений предложена и отработана технология, позволяющая осуществить процесс восстановления ПВХ изоляции электрического кабеля.

Выбранное оборудование позволяет провести процесс восстановления изоляции, а разработанный стенд обеспечить визуальные исследования качества восстановления изоляции кабеля с помощью увеличения изображения.

*Ключевые слова:* изоляция, кабель, ультразвук, сварка, стенд, качество

## ВВЕДЕНИЕ

При производстве кабельной продукции одно из важнейших требований к качеству продукции обеспечивается изготовлением изоляционных покрытий электрических кабелей [1,2]. В процессе производства и полимеризации изоляционных покрытий кабеля образуются воздушные включения и пустоты, возникают разломы и трещины, а толщина покрытий на отдельных участках уменьшается до недопустимых пределов (рисунок 1).



Рис. 1. Повреждение изоляции электрического кабеля (разломы, порезы)

В результате возникновения таких дефектов покрытия изоляция электрического кабеля

снижается, а на отдельных участках отсутствует [3]. Возникновение нескольких дефектов на значительных по длине участках изоляционных покрытий приводит к отбраковке значительных объемов продукции.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

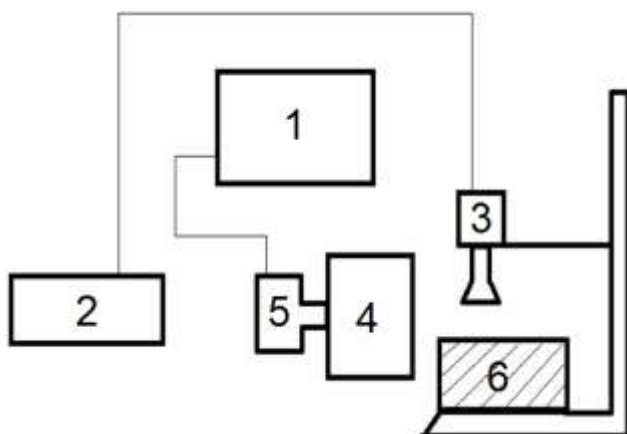
В связи с этим возникает необходимость устранения недопустимых дефектов после отбраковки продукции.

Известное свойство механических колебаний ультразвуковой частоты интенсифицировать процессы плавления и диффузии термопластичных материалов [4,5] позволяет предложить технологию восстановления полимерной оболочки кабеля.

Таким образом, возникает необходимость создания технологии восстановления изоляции кабеля при помощи метода ультразвуковой сварки полимерных термопластичных материалов с использованием специализированных ультразвуковых аппаратов.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для исследования процесса, отработки приемов и режимов процесса восстановления поврежденных участков изоляции и визуального исследования качества формируемых сварных швов создан специализированный стенд, структурная схема которого представлена на рисунке 2. Предложенный и разработанный стенд включает персональный компьютер для просмотра увеличенного изображения 1, ультразвуковой аппарат 2 с колебательной системой 3, оборудование для фотосъемки процесса с необходимым увеличением 4,5 и специальную опору 6, для исключения сдвига или смещения кабеля в процессе сварки.



1 – ПК; 2 – УЗ аппарат; 3 – колебательная система со сварочным инструментом; 4 – микроскоп; 5 – камера для фотосъемки; 6 – опора;

**Рис. 2. Схема и фото стенда для исследования качества восстановления изоляции кабеля**

Вывод изображения исследуемых участков кабеля выводится на экран монитора при подключении фотокамеры через USB порт персонального компьютера. Максимальное разрешение изображения, формируемого фотокамерой составляет 2048x1536 точек. Камера используется совместно с микроскопом 4 «Альтами», который имеет рабочее расстояние 118 мм, диапазон плавного увеличения изображения от 7 до 45 крат и обеспечивает наблюдение объемного изображения предметов в отраженном или проходящем свете [6].

Для работы в составе созданного стенда использованы ультразвуковые аппараты серии «Гимней-ультра», предназначенные для сварки полимерных термопластичных материалов [7-9].

На рисунке 3 представлен внешний вид ультразвуковых аппаратов, которые использовались при проведении исследований.



**Рис. 3. Ультразвуковые аппараты для сварки термопластичных материалов АУС-0,4/44-ОМ.Лн (вариант исполнения №1 и №2)**

Применение ультразвукового аппарата позволяло ввести в свариваемые материалы механические колебания амплитудой от 20 до 50 мкм с частотой  $44 \pm 3,2$  кГц. Колебательная система 3 со сварочным инструментом позволяла формировать сварной шов диаметром 8 мм. Колебательная система была установлена в штатив, который использовался для обеспечения прижима сварочного инструмента к поврежденному участку изоляции кабеля с необходимым усилием в пределах 100-300 Н [10].

При отработке технологии было установлено, что процесс восстановления изоляции кабеля должен включать несколько этапов: размещение кабеля с поврежденной изоляцией на специальной опоре, центровку относительно сварочного инструмента, размещение присадочного материала в зоне поврежденного участка, прижим сварочным инструментом к поврежденному участку с необходимым усилием, ввод энергии механических колебаний ультразвуковой частоты, формирование монолитного соединения присадочного материала с изоляцией кабеля для устранения поврежденного участка.

В результате ультразвукового воздействия в процессе формирования монолитного соединения полимерные материалы присадки и изоляции активно переходят в вязкотекучее состояние, взаимно перемешиваются, и осуществляется модификация восстановленного участка изоляции. По окончании УЗ воздействия вследствие понижения температуры в зоне ультразвукового воздействия происходит стабилизация восстановленного участка [11].

При использовании разработанного стенда проведены исследования и получены фотографии сварных швов изоляции с увеличением 15 крат. Сварные швы выполнялись с разными временными интервалами ультразвукового воздействия для того, чтобы показать эффективность проникновения присадочного материала в канал повреждённой изоляции кабеля.

На рисунках 4, 5 представлены фотографии сформированных сварных швов, выполненных за различные интервалы времени ультразвукового воздействия (0,5 сек; 0,7; 0,9; 1,2), выполненные без увеличения.



Рис. 4. Изоляция кабеля со сформированным швом за время 0,5 сек (сверху), за время 0,7 сек (снизу)

При таком времени воздействия термопластичный материал изоляции, переходит в текучее состояние и перемешивается с присадочным материалом за счёт выделения энергии механических колебаний ультразвуковой частоты.

На рисунках 6-9 представлены поперечные разрезы сварных швов, выполненные по каналу дефекта.



Рис. 5. Изоляция кабеля со сформированным швом за время 0,9 сек (сверху), за время 1,2 сек (снизу)

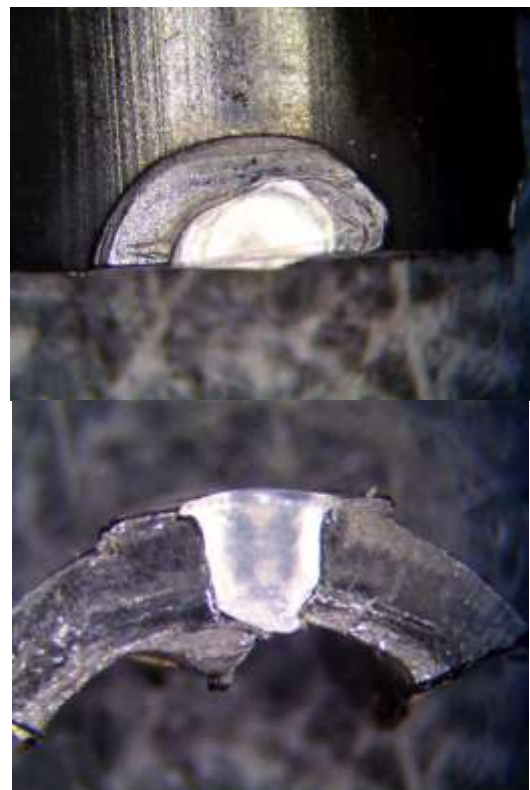


Рис. 6. Поперечный срез изоляции кабеля с восстановленным повреждением, в течение времени 0,5 сек, вид сверху (сверху), вид сбоку (снизу)

Представленные изображения выполнены с увеличением 15 крат, сверху и сбоку, в отражённом свете. При времени 0,5-0,7 секунд визуально видно проникновение присадочного полимера на полную толщину изоляции, но монокристаллического соединения присадочного материала с изоляцией не происходит.

Установлено, что за время ультразвукового воздействия не менее 0,9 с происходит проникновение присадочного материала в повреждение изоляции, достаточное для формирования монокристаллического участка. При этом границы присадочного материала и прокола отсутствуют.

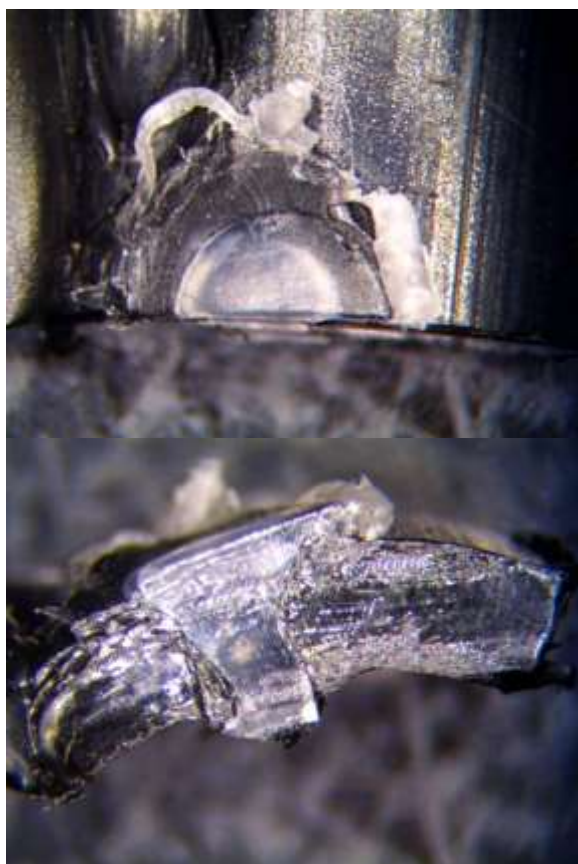


Рис. 7. Поперечный срез изоляции кабеля с восстановленным повреждением, в течение времени 0,7 сек вид сверху (фото сверху), вид сбоку (фото снизу)



Рис. 8. Поперечный срез изоляции кабеля с восстановленным повреждением, в течение времени 0,9 сек вид сверху (фото сверху), вид сбоку (фото снизу)

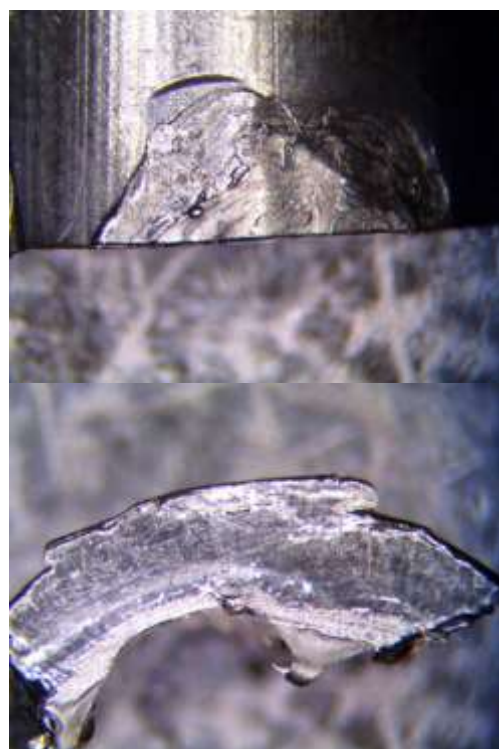


Рис. 9. Поперечный срез изоляции кабеля с восстановленным повреждением, в течение времени 1,2 сек вид сверху (фото сверху), вид сбоку (фото снизу)

Для подтверждения качества изоляции были проведены испытания восстановленной изоляции электрических кабелей с использованием пробивной установки, предназначенной для проверки параметров электробезопасности GPI-735A, с использованием высокого напряжения 4 кВ [12, 13].

Образцы с устраненными дефектами помещались в воду. Предварительно, к электрическому кабелю и в воду был помещён электрод. Эксперимент проводился на постоянном и переменном напряжении 4 кВ в течении минуты. Восстановленная изоляция выдерживает 4 кВ переменного напряжения в течение установленных времени, что существенно превышает установленные требования.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, для восстановления изоляции кабеля, и устранения повреждений предложена и отработана технология, позволяющая осуществить процесс восстановления ПВХ изоляции электрического кабеля.

Выбранное оборудование позволяет провести процесс восстановления изоляции, а разработанный стенд обеспечить визуальные исследования качества восстановления изоляции кабеля с помощью увеличения изображения. Проведенные работы позволили установить оптимальное время (которое составило 0,9 секунд) ультразвукового воздействия при восстановлении дефектов, достаточное для обеспечения максимального качества при восстановлении изоляции.

Проведенные электрические испытания восстановленной изоляции кабеля из поливинилхлорида подтвердили возможность обеспечения требуемого качества продукции и позволили рекомендовать предложенную технологию производителям кабельной продукции.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Попова, Ю.С. Проблемы эксплуатации кабелей высокого напряжения с изоляцией из сшитого полиэтилена [Текст] / Ю.С. Попова, Ф.Х. Халилов, Н.А. Шилина // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. – 2009. – № 2 (78). – С. 57-61.
2. Крыштоб, В.И. Об улучшении эксплуатационных свойств кабелей с полимерной изоляцией [Текст] // В.И. Крыштоб, С.И. Расмагин, Т.В. Власова // Электротехника. – 2018. – № 6. – С. 48-50.
3. Поликarpов, А.П. Исследование термомеханических свойств и возможности вторичного использования поливинилхлорида [Текст] / А.П. Поликarpов, В.И. Мартинович, Н.Р. Прокопчук, Е.И. Вечер // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя хімічных навук. – 1999. – № 1. – С. 104-107.
4. Хмельев, В.Н. Ультразвук. Аппараты и технологии: монография [Текст] / В.Н. Хмельев, А.В. Шалунов, С.С. Хмельев, С.Н. Цыганок. – Бийск: Изд-во Алтайского гос. техн. ун-та, 2015. – 688 с.
5. Клубович, В.В. Ультразвук в технологии производства композиционных кабелей [Электронный ресурс] : монография / В.В. Клубович, В.В. Рубаник, Ю.В. Царенко. – Электрон. дан. – Минск: 2012. – 294 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/90521>
6. Способ измерения амплитуды колебаний: пат. № 2292530 РФ, / Леонов Г.В., Хмельев В.Н., Абраменко Д.С., Савин И.И., заявл. 14.04.2005
7. Хмельев, В.Н. Ультразвуковая сварка термопластичных материалов: монография [Текст] / В.Н. Хмельев, А.Н. Сливин, А.Д. Абрамов, С.С. Хмельев; под ред. В.Н. Хмелева. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2014. – 281 с.
8. Холопов, Ю.В. Ультразвуковая сварка пластмасс и металлов [Текст] / Ю.В. Холопов. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд. 1988. – 224 с.: ил.
9. Мозговой, И.В. Теория и практика силового ультразвука Том Часть 3 Образование соединений пластмасс [Текст] / И.В. Мозговой // Монография. В четырех частях. – Омск. – 2015. – 208 с. Бабичев, А.П. Физические величины. Справочник [Текст] / А.П. Бабичев, Н.А. Бабушкина, А.М. Братовский, и др. под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. – М.: «Энергоатомиздат». – 1991. – 1232 с.
10. Khmelev, V.N. Development of ultrasonic welding technology by hand tool [Text] / V.N. Khmelev, A.N. Slivin, A.D. Abramov, M.E. Vakar // 17th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM -2016) Conference Proceedings. – 2016. – С. 280-284.

11. Slivin, A.N. Stand for controlling of quality of weld producing at ultrasonic welding of thermoplastic materials [Text] / V.N. Khmelev, A.N. Slivin, A.D. Abramov // 18th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices / EDM 2017 Conference Proceedings. – 2017. – С. 246-249.

12. Габдуллин, А.Ф. Электрическая изоляция: история создания и методы оценки качества [Текст] / А.Ф. Габдуллин / XLIII Международные научные чтения (памяти И.И. Ползунова) сборник статей Международной научно-практической конференции. – 2019. – С. 12-16.

13. Крыштоб, В.И. Особенности пробоя в электрических кабелях с полимерной изоляцией [Текст] / В.И. Крыштоб, Д.В. Власов, В.Ф. Миронов, Л.А. Апресян, Т.В. Власова, С.И. Расмагин, З.А. Кураташвили, А.А. Соловский // Электротехника. – 2014. – № 5. – С. 60-63.

*Хмельев Владимир Николаевич – д.т.н., заместитель директора по научной работе, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел. (3854)432581, e-mail: vnh@bti.secna.ru.*

*Сливин Алексей Николаевич – к.т.н., доцент кафедры методов и средств измерений и автоматизации, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел. (3854)432570, e-mail: san@bti.secna.ru.*

*Шалунов Андрей Викторович – д.т.н., профессор, заведующий каф. МСИА, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел. (3854)432571, e-mail: shalunov@bti.secna.ru.*

*Абрамов Алексей Дмитриевич – инженер кафедры технологии машиностроения и качества, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел. (3854)432570, e-mail: abramov@bti.secna.ru.*

# STAND FOR THE RESEARCH OF THE QUALITY OF THE RESTORATION OF THE INSULATION OF ELECTRICAL CABLES USING THE ULTRASONIC WELDING METHOD

V.N. Khmelev, A.N. Slivin, A.V. Shalunov, A.D. Abramov

*Biysk Technological Institute (branch) of the AltSTU*

Abstract – The article presents the results of the development of a specialized stand for conducting research on the quality of insulation restoration. To restore the insulation of the cable, and to eliminate the damage, a technology has been proposed and developed that allows the process of restoring the PVC to the insulation of the electric cable. The selected equipment allows you to carry out the insulation restoration process, and the designed stand provides visual studies of the quality of cable insulation restoration using image magnification.

*Index terms: insulation, cable, ultrasound, welding, stand, quality*

## REFERENCES

1. Popova, Yu.S. Problems of operation of high-voltage cables with insulation made of cross-linked polyethylene [Text] / Yu.S. Popova, F.Kh. Khalilov, N.A. Shilin // Scientific and technical statements of the St. Petersburg State Polytechnic University. - 2009. - № 2 (78). - pp. 57-61.
2. Krysh Tob, V.I. On improving the performance properties of cables with polymer insulation [Text] // V.I. Krysh Tob, S.I. Rasmagin, T.V. Vlasov // Electrical Engineering. - 2018. - № 6. - p. 48-50.
3. Polikarpov, A.P. Study of thermomechanical properties and the possibility of secondary use of polyvinyl chloride [Text] / A.P. Polikarpov, V.I. Martinovich, N.R. Prokopchuk, E.I. Vecher // All National Academies of Belarus. Gray himichnyh nauk. - 1999. - № 1. - p. 104-107.
4. Khmelev, V.N. Ultrasound. Apparatus and technology: monograph [Text] / V.N. Khmelev, A.V. Shalunov, S.S. Khmelev, S.N. Gypsy women - Biysk: Publishing house of the Altai State. tech. University, 2015. - 688 p.
5. Klubovich, V.V. Ultrasound in the production technology of composite cables [Electronic resource]: monograph / V.V. Klubovich, V.V. Rubanik, Yu.V. Tsarenko. - Electron. Dan. - Minsk: 2012. - 294 p. - Access mode: <https://e.lanbook.com/book/90521>
6. A method of measuring the amplitude of oscillations: Pat. № 2292530 of the Russian Federation, / G. G. Leonov, V.N. Khmelev, D.S. Abramenko, I.I. Savin, claimed 04/14/2005
7. Khmelev, V.N. Ultrasonic welding of thermoplastic materials: monograph [Text] / V.N. Khmelev, A.N. Slivin, A.D. Abramov, S.S. Khmelev; by ed. V.N. Khmeleva. - Biysk: Publishing house Alt. state tech. University, 2014. - 281 p.
8. Kholopov, Yu.V. Ultrasonic welding of plastics and metals [Text] / Yu.V. Kholopov. - L.: Mechanical Engineering. Leningrad Dep. 1988. - 224 pp., Ill.
9. Mozgovoy, I.V. Theory and practice of power ultrasound Volume Part 3 Formation of plastic compounds [Text] / I.V. Mozgovoy // Monograph. In four parts. - Omsk. - 2015. - 208 c. Babichev, A.P. Physical quantities. Reference [Text] / A.P. Babichev, N.A. Babushkina, A.M. Bratovsky, and others. Ed. I.S. Grigorieva, E.Z. Meilikhov. - M.: "Energoatomizdat". - 1991. - 1232 s.
10. Khmelev, V.N. Handheld technology [Text] / V.N. Khmelev, A.N. Slivin, A.D. Abramov, M.E. Vakar // 17th International Conference of Young Specialists on Micro / Nanotechnologies and Electron Devices (EDM -2016) Conference Proceedings. - 2016. - p. 280-284.
11. Slivin, A.N. Stand up for controlling the quality of the thermoplastic materials [Text] / V.N. Khmelev, A.N. Slivin, A.D. Abramov // 18th International Conference of Young Specialists on Micro / Nanotechnologies and Electron Devices / EDM 2017 Conference Proceedings. - 2017. - p. 246-249.
12. Gabdullin, A.F. Electrical insulation: the history of creation and quality assessment methods [Text] / A.F. Gabdullin // XLIII International Scientific Readings (in memory of II Polzunov) collection of articles of the International Scientific and Practical Conference. - 2019. - p. 12-16.
13. Krysh Tob, V.I. Features of breakdown in electrical cables with polymer insulation [Text] / V.I. Krysh Tob, D.V. Vlasov, V.F. Mironov, L.A. Apresyan, T.V. Vlasova, S.I. Rasmagin, Z.A. Kuratashvili, A.A. Solovskiy // Electrical engineering. - 2014. - № 5. - p. 60-63.

*Vladimir Nikolayevich Khmelev - Doctor of Technical Sciences, Deputy Director for Research, Biysk Technological Institute (Branch) ASTU named after I.I. Polzunova, tel. (3854) 432581 e-mail: vnh@bti.secna.ru.*

*Slivin Alexey Nikolaevich - Ph.D., Associate Professor of the Department of Methods and Means of Measuring and Automation, Biysk Technological Institute (branch) of ASTU. named after I.I. Polzunova, tel. (3854) 432570, e-mail: san@bti.secna.ru.*

*Shalunov Andrey Viktorovich - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department. MSIA, Biysk Technological Institute (branch) of ASTU named after I.I. Polzunova, tel. (3854) 432571, e-mail: shalunov@bti.secna.ru.*

*Abramov Aleksey Dmitrievich - Engineer of the Department of Mechanical Engineering and Quality, Biysk Technological Institute (branch) of ASTU named after I.I. Polzunova, tel. (3854) 432570, e-mail: abramov@bti.secna.ru.*