

## ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРЕССА П 6043 ДЛЯ НАЛОЖЕНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ ОБОЛОЧЕК НА КАБЕЛИ

С.А. Кижаяев (ЗАО "Самарская кабельная компания")

Рассматриваются проблемы автоматизации гидравлического пресса по наложению алюминиевых оболочек на кабели. Описывается алгоритм функционирования системы стабилизации диаметра алюминиевой оболочки, приводятся структурные схемы измерения диаметра и его регулирования.

В настоящее время хорошо описаны процессы экструзии полимеров на экструзионных прессах.

Меньшее внимание уделялось ранее и сейчас ТП нанесения алюминиевых оболочек на кабели на гидравлических прессах типа П 6043. Эти прессы были поставлены заводом-изготовителем без требуемой автоматики. В настоящее же время ужесточились требования как к ведению самого ТП, так и к характеристикам изготавливаемого кабеля.

На рис. 1 представлен общий вид пресса П 6043.

Важнейшими задачами при автоматизации процесса наложения алюминиевых оболочек на прессах типа П6043 (П958) являются процессы нагрева слитков, стабилизации диаметра накладываемой оболочки и ее толщины.

Рассмотрим эти процессы с математической точки зрения. На рис. 2 приведена упрощенная схема выпрессовывания слитков в оболочку.

Составим уравнение теплового баланса при нагреве и выпрессовывании слитков в единицу времени для одного слитка:

$$\frac{\pi}{4} D_{1сл}^2 l_{1сл} \gamma_{1сл} c_{1сл} \Delta T_{1сл} = (P_{1наг} \eta + P_{1нас}) n_{1нас}, \quad (1)$$

где  $\eta$  – коэффициент полезного действия установки нагрева,  $n_{нас}$  – развиваемые обороты гидравлического насоса при экструзии,  $l_{1сл}$  – длина выпрессовываемой части слитка.

Из (1) найдем количество массы, выпрессовываемой из пресса:

$$\frac{\pi}{4} D_{1сл}^2 l_{1сл} \gamma_{1сл} = \frac{(P_{1наг} + P_{1нас}) n_{1нас}}{c_{1сл} \Delta T_{1сл}}. \quad (2)$$

Аналогично для второго слитка можно записать:

$$\frac{\pi}{4} D_{2сл}^2 l_{2сл} \gamma_{2сл} = \frac{(P_{2наг} + P_{2нас}) n_{2нас}}{c_{2сл} \Delta T_{2сл}}. \quad (3)$$

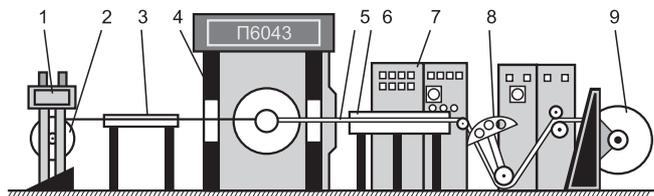


Рис. 1. Общий вид пресса П 6043,

где 1 – отдающее устройство, 2 – барабан с заготовкой кабеля, 3 – направляющий стол для исключения провисания кабеля, 4 – гидравлический пресс, 5 – кабель в наложенной оболочке, 6 – ванна для охлаждения, 7 – система управления, 8 – компенсатор, 9 – приемный барабан с изготовленным кабелем

Количество массы, выпрессованной из пресса двумя слитками, уносится заготовкой кабеля в единицу времени со скоростью  $v$ :

$$\frac{\pi}{4} D_{1сл}^2 l_{1сл} \gamma_{1сл} + \frac{\pi}{4} D_{2сл}^2 l_{2сл} \gamma_{2сл} = \frac{\pi}{4} (D_{об}^2 - D_{заг}^2) v \gamma_{сл}, \quad (4)$$

где  $\gamma_{1сл} = \gamma_{2сл} = \gamma_{заг}$  для данной партии.

Следовательно, из (2) и (3) с учетом (4) можно написать:

$$\frac{(P_{1наг} + P_{1нас}) n_{1нас}}{c_{1сл} \Delta T_{1сл}} + \frac{(P_{2наг} + P_{2нас}) n_{2нас}}{c_{2сл} \Delta T_{2сл}} = \frac{\pi}{4} (D_{об}^2 - D_{заг}^2) v. \quad (5)$$

После преобразования найдем из (5) зависимость Доб от других параметров:

$$D_{об} = \sqrt{D_{заг}^2 + \frac{4}{\pi} \left\{ \frac{(P_{1наг} + P_{1нас}) n_{1нас}}{c_{1сл} \Delta T_{1сл}} \frac{v}{v} + \frac{(P_{2наг} + P_{2нас}) n_{2нас}}{c_{2сл} \Delta T_{2сл}} \frac{v}{v} \right\}}. \quad (6)$$

Из формулы (6) следует, что диаметр по алюминиевой оболочке кабеля определяется мощностями нагрева слитков, мощностями, развиваемыми в данный момент гидравлическими насосами, их производительностью, температурой слитков, теплоемкостью их металла и скоростью прессования.

Следовательно, измеряя вышеприведенные величины, в промышленном компьютере можно вычислить средний прогнозируемый диаметр накладываемой оболочки. Измеренные сигналы принимаются

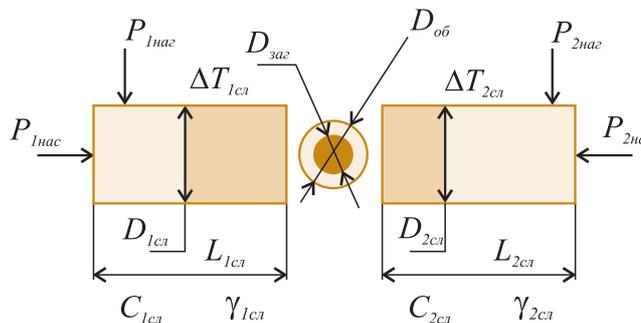


Рис. 2. Схема выпрессовывания слитков,

где  $P_{1нас}$ ,  $P_{2нас}$  – мощности, развиваемые первым и вторым гидравлическими насосами,  $P_{1наг}$ ,  $P_{2наг}$  – мощности нагрева первого и второго слитков,  $\Delta T_{1сл}$ ,  $\Delta T_{2сл}$  – температуры при нагреве первого и второго слитков,  $D_{1сл}$ ,  $D_{2сл}$ ,  $l_{1сл}$ ,  $l_{2сл}$  – диаметры и длины соответственно первого и второго слитков,  $c_{1сл}$ ,  $c_{2сл}$ ,  $\gamma_{1сл}$ ,  $\gamma_{2сл}$  – теплоемкости и удельные веса первого и второго слитков,  $D_{об}$ ,  $D_{заг}$  – диаметр оболочки кабеля и диаметр заготовки кабеля

контроллером от соответствующих датчиков, обрабатываются в нем и подаются на вычисления в промышленный компьютер (рис. 3).

Важнейшей задачей является стабилизация температурных режимов нагрева как самих слитков в индукторах, так и головки, через которую производится их выпрессовывание. В компьютере (рис. 4) задают уставки температур 1-го и 2-го слитков, температуру нагрева головки и металла оболочки. Эти сигналы поступают на входы регуляторов температуры в контроллер, на другие входы которых подаются сигналы с датчиков температуры ВК1, ВК2 и ВК3 и ВК4. Температура оболочки кабеля измеряется бесконтактным датчиком температуры ВК4 и служит для регулирования расхода охлаждающей воды в ванне охлаждения (привод UZ7).

Для защиты индукторов нагрева слитков контролируется температура их медных трубок (рис.5). Регулирование температуры ведется путем изменения расхода

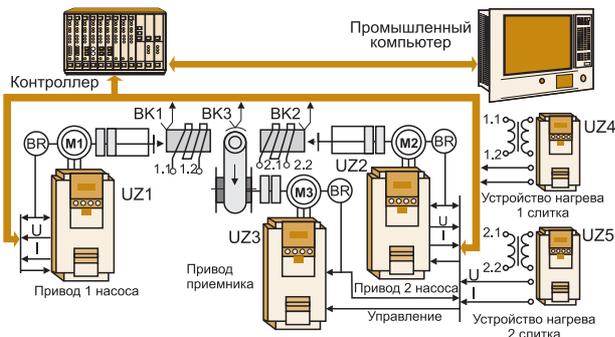


Рис.3. Структурная схема вычисления диаметра накладываемой оболочки  $D_{об}$ :

UZ1, UZ2 – частотные привода гидравлических насосов, UZ3 – привод приемного механизма, UZ4-UZ5 – модернизированные тиристорные приводы типа ЭПУ, BR – датчики измерения оборотов насосов ( $n_{наес}$ ,  $n_{нас}$ ) и скорости кабеля ( $v$ ), ВК1-ВК3 – датчики для измерения температур слитков и температуры металлической оболочки (ВК3), U, I – напряжение и ток двигателей насосов и источников нагрева слитков

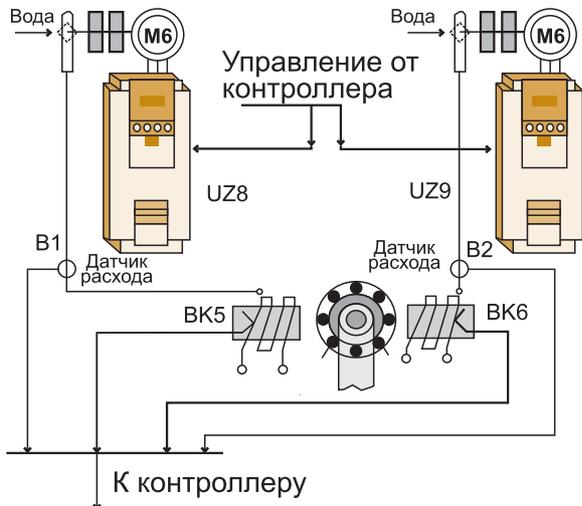


Рис. 5. Структурная схема управления вспомогательными температурными режимами

охлаждающей воды, протекающей через трубки индуктора с помощью насосов, управляемых от частотных инверторов, при этом с помощью датчиков расхода контролируется подача охлаждающей воды, количество которой определяется температурным режимом с помощью датчиков температуры ВК5 и ВК6.

Теперь рассмотрим как построена система управления производительностью насосов, а значит скоростью прессования оболочки. Структурная схема системы стабилизации производительности пресса представлена на рис.6. Здесь каждый насос может иметь свои заданные обороты для компенсации возникших погрешностей в системе, что определяется равномерностью толщины оболочки. Синхронность работы обоих насосов определяется их соотношением, которое задается в промышленном компьютере. Стабилизация скорости осуществляется в данном случае с использованием аналогового тахогенератора постоянного тока.

Важной задачей является стабилизация диаметра оболочки кабеля. Структурная схема этой системы приведена на рис. 7. Возможна работа без стабилизации диаметра (при настройке пресса), со стабилизацией диаметра по прогнозу (способ косвенного измерения диаметра оболочки) и действительной величине диаметра, измеряемого с помощью датчика диаметра, а также комбинированный способ автоматического регулирования диаметра: со стабилизацией по внутреннему контуру – косвенный метод измерения диаметра путем вычисления по формуле (6) и по внешнему кон-

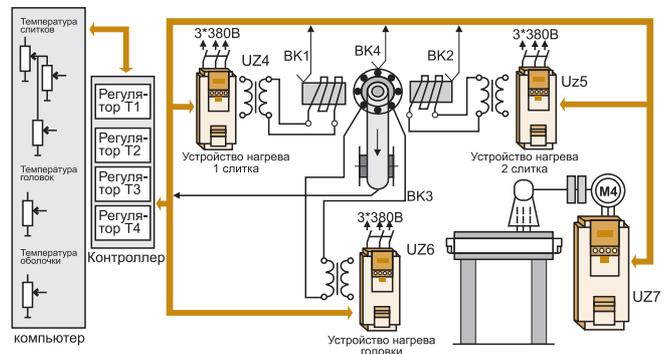


Рис. 4. Структурная схема управления основными температурными режимами

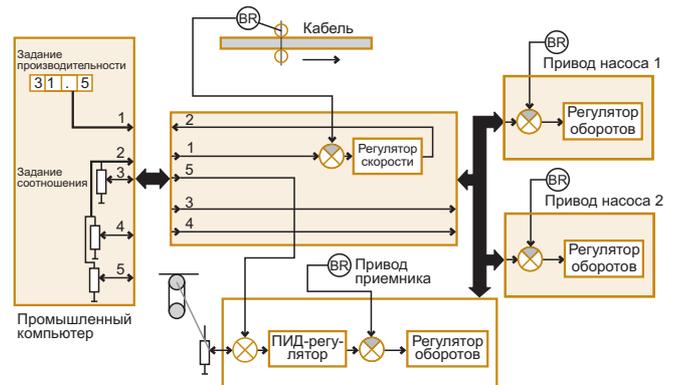


Рис. 6. Структурная схема системы стабилизации производительности пресса П6043

туру – от датчика диаметра по реальному значению диаметра металлической оболочки кабеля.

Следующей важной задачей является автоматизация процесса регулирования толщины металлической оболочки (рис. 8). Регулирование ведется путем перемещения матрицедержателя с матрицей относительно дорна. Перемещение ведется за счет гидравлики открытием соответствующего клапана, в результате чего поворачивается на определенный угол ключ матрицедержателя, что контролируется датчиком угла поворота ВЕ. Стабилизация угла поворота является внутренним контуром системы стабилизации толщины металлической оболочки кабеля, главным контуром является контур управления толщиной с помощью датчика толщины оболочки.

На рис.9 приведена практически полная конфигурация системы компьютерного управления алюминиевого пресса П6043.

Рассмотрим теперь как построена в целом система компьютерного управления алюминиевым прессом П6043 (рис.9). Главным устройством в ней является контроллер фирмы Siemens типа Simatic S7 300 с CPU 315 с коммуникационным процессором CP341. Число модулей аналогового входа/выхода и цифровых модулей входа/выхода определяется по числу указанных сигналов путем деления на число обрабатываемых сигналов в одном модуле.

Данные использованных приводов фирмы Siemens:

- UZ1-UZ2 – преобразователи частоты Simovert Masterdrive 200 кВт;
- UZ3 – преобразователь частоты Микромастер 440, 11 кВт;
- UZ7, UZ8, UZ9, UZ10 – преобразователь частоты Микромастер 440, 4кВт;
- UZ4-UZ6 – модернизированные приводы типа ЭПУ 1 (Россия) с согласующими автотрансформаторами на 160 кВт производства ОАО "Саратовтрансформатор". Электродвигатели применены российского производства следующих типов:

- M1-M2-5AM315M4e, 200 кВт, n=1485 об/мин,
- M3- АИР 160S6, n=970 об/мин, P=11 кВт,
- M4-M6 -АИР 100L4, P=4 кВт, n=1500 об/мин.

Индукторы и головка изготовлены в ОАО "Уралэлектроаппарат" 2\*100 кВт, U=380 В. Применен промышленный компьютер фирмы Siemens Simatic Panel PC IL 70.

Рассмотрим теперь пресс как объект управления (рис. 10). У него на входе действуют пять входных сигналов:

$T_1(p)$ ,  $T_2(p)$ ,  $n_1(p)$ ,  $n_2(p)$  и  $\alpha_{инст}$  – угол поворота ключа инструмента при регулировании толщины металлической оболочки кабеля, а на выходе действуют две величины: диаметр металлической оболочки  $D_{об}(p)$  и толщина металлической оболочки  $h(p)$ . Тогда передаточную функцию объекта управления можно записать следующим образом

$$W_{об}(p) = \begin{bmatrix} W_{11}(p) & W_{12}(p) & 0 \\ W_{21}(p) & W_{22}(p) & 0 \\ W_{31}(p) & W_{32}(p) & 0 \\ W_{41}(p) & W_{42}(p) & 0 \\ W_{51}(p) & W_{52}(p) & 0 \end{bmatrix},$$

где элементами являются передаточные функции по каналу управления:

$W_{11}(p) = \frac{D_{об}(p)}{T_1(p)}$  – температура нагрева 1-го слитка – диаметр оболочки кабеля,

$W_{21}(p) = \frac{D_{об}(p)}{T_2(p)}$  – температура нагрева 2-го слитка – диаметр оболочки кабеля,

$W_{31}(p) = \frac{D_{об}(p)}{n_1(p)}$  – обороты насоса выпрессовывания 1-го слитка – диаметр оболочки кабеля,

$W_{41}(p) = \frac{D_{об}(p)}{n_2(p)}$  – обороты насоса выпрессовывания 2-го слитка – диаметр оболочки кабеля,

$W_{51}(p) = \frac{D_{об}(p)}{\alpha_{инст}(p)} = 0$  – угол поворота ключа инструмента (матрицедержатель) – диаметр оболочки кабеля,

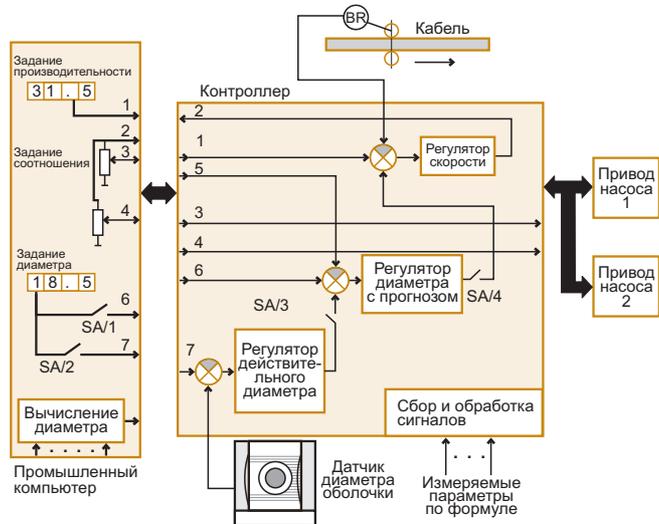


Рис.7. Структурная схема системы стабилизации диаметра металлической оболочки кабеля

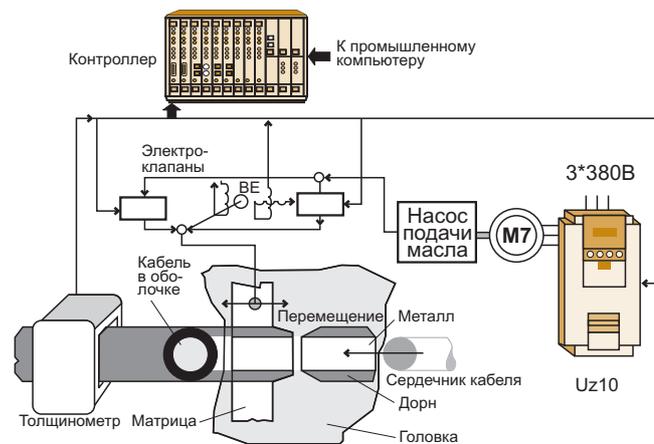


Рис. 8. Структурная схема системы стабилизации толщины металлической оболочки

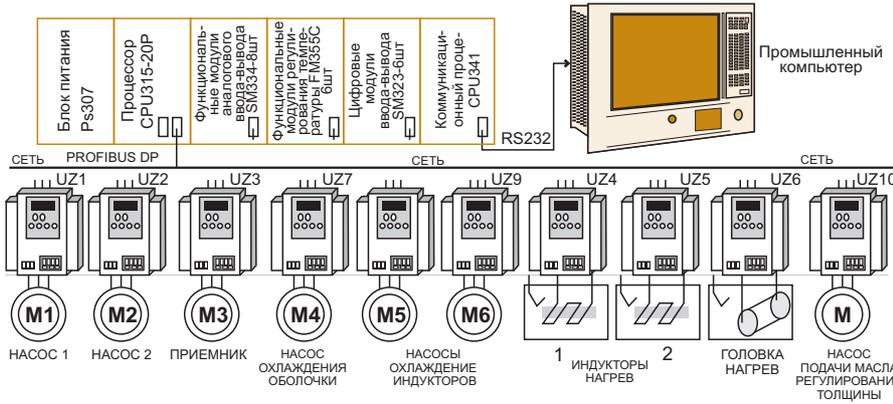


Рис. 9. Конфигурация системы компьютерного управления алюминиевым прессом П6043

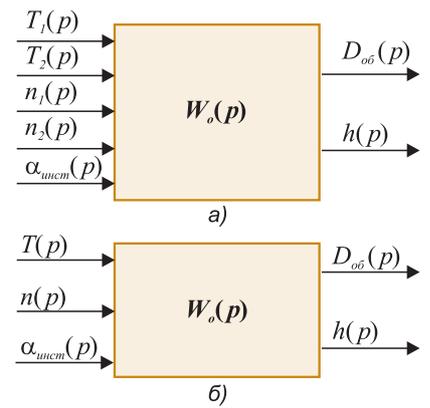


Рис. 10. Структурная схема объекта управления (пресс П6043)

$$W_{12}(p) = \frac{h(p)}{T_1(p)} \text{ — температура нагрева 1-го слитка — толщина оболочки кабеля,}$$

$$W_{22}(p) = \frac{h(p)}{T_2(p)} \text{ — температура нагрева 2-го слитка — толщина оболочки кабеля,}$$

$$W_{32}(p) = \frac{h(p)}{n_1(p)} \text{ — обороты насоса выпрессовывания 1-го слитка — толщина оболочки кабеля,}$$

$$W_{42}(p) = \frac{h(p)}{n_2(p)} \text{ — обороты насоса выпрессовывания 2-го слитка — толщина оболочки кабеля,}$$

$$W_{52}(p) = \frac{h(p)}{\alpha_{инст}(p)} \text{ — угол поворота ключа инструмента (матрицедержатель) — толщина оболочки кабеля.}$$

Возможно упрощение модели объекта управления, если принять следующие допущения. Системы автоматической стабилизации температур нагрева слитков и оборотов насосов выпрессовывания слитков позволяют с высокой точностью обеспечить:  $T_1(p) = T_2(p) = T(p)$ ,  $n_1(p) = n_2(p) = n(p)$ . Тогда объект управления будет иметь передаточную функцию (рис.10 б):

$$W_{об}(p) = \begin{bmatrix} W_{11}(p) & W_{12}(p) & W_{13}(p) \\ W_{21}(p) & W_{22}(p) & W_{23}(p) \\ W_{31}(p) & W_{32}(p) & W_{33}(p) \end{bmatrix},$$

где элементами являются передаточные функции по каналу управления:

$$W_{11}(p) = \frac{D_{об}(p)}{T(p)} \text{ — температура нагрева слитков — диаметр оболочки кабеля,}$$

$$W_{21}(p) = \frac{D_{об}(p)}{n(p)} \text{ — обороты насосов выпрессовывания слитков — диаметр оболочки кабеля,}$$

$$W_{12}(p) = \frac{h(p)}{T(p)} \text{ — температура нагрева слитков — толщина оболочки кабеля,}$$

$$W_{22}(p) = \frac{h(p)}{n(p)} \text{ — обороты насосов — толщина оболочки кабеля,}$$

$$W_{32}(p) = \frac{h(p)}{\alpha_{инст}(p)} \text{ — угол поворота ключа инструмента (матрицедержатель) — толщина оболочки кабеля.}$$

При этом,

$$W_{31}(p) = \frac{D_{об}(p)}{\alpha_{инст}(p)} = 0, \quad W_{13}(p) = W_{23}(p) = W_{33}(p) = 0.$$

В настоящее время определены следующие передаточные функции:

а) по каналу "температура-диаметр оболочки"

$$W_{11}(p) = \frac{D_{об}(p)}{T(p)} = \frac{k_{11}}{T_{11}p + 1} = \frac{0,25(мм/°C)}{12p + 1};$$

б) по каналу "обороты насосов — диаметр оболочки"

$$W_{21}(p) = \frac{D_{об}(p)}{n(p)} = \frac{k_{21}}{T_{21}p + 1} = \frac{6,37(мм \cdot c)}{8,4p + 1};$$

в) по каналу "угол поворота ключа инструмента (матрицедержатель) — толщина оболочки кабеля"

$$W_{32}(p) = \frac{h(p)}{\alpha_{инст}(p)} = \frac{k_{32}}{T_{32}p + 1} = \frac{0,1(мм/град)}{0,8p + 1},$$

по которым и ведется регулирование указанных параметров.

**Кижаяев Станислав Алексеевич** — заслуженный изобретатель РФ, главный электроник ЗАО "Самарская кабельная компания".  
Контактный телефон (8462) 282-455, факс (8462) 552-220.

Уважаемые читатели! Продолжается подписка на журнал "Автоматизация в промышленности" на 2004 г. Оформить подписку Вы можете:

В любом почтовом отделении  
Индексы в каталоге "Роспечать" — 81874,  
в Объединенном каталоге "Пресса России" — 39206

В редакции и  
Сети Интернет по адресу: www.avtprom.ru