УДК 621.914.5:62.231.3.003
DOI: 10.17277/vestnik.2017.04.pp.688-697

ФОРМООБРАЗУЮЩИЕ ЦЕПИ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ НА ОСНОВЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ

В. А. Ванин, А. Н. Колодин, А. А. Родина

*Кафедра «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении»,
ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия; kafedra@mail.gaps.tstu.ru*

Ключевые слова: внутренние связи; генератор гидравлических импульсов; гидравлические связи; гидравлический шаговый двигатель; гидравлический шаговый привод; резьбофрезерные станки; формообразующие связи.

Аннотация: Рассмотрена возможность синтеза и оптимизации построения внутренних (формообразующих) цепей металлорежущих станков различного технологического назначения в виде гидравлической синхронной связи на основе шагового гидропривода в целях применения агрегатно-модульного принципа для повышения точности, снижения металлоемкости, создания рациональной конструкции цепей станка.

Введение

Тенденцией перспективного развития металлорежущих станков являются дальнейшее повышение точности обрабатываемых изделий путем снижения суммарной кинематической погрешности согласованного перемещения инструмента и заготовки, уменьшения влияния на точность обработки различных возмущающих воздействий; снижение металлоемкости; существенное увеличение производительности станков при интенсификации режимов обработки.

Кинематическая структура металлорежущего станка составлена из ряда кинематических групп: формообразования, деления, врезания, управления и вспомогательных движений. Основа структуры – группы формообразования. Кинематическая структура металлорежущего станка зависит от геометрической формы, размеров обрабатываемой поверхности и метода обработки, который оказывает влияние на нее в зависимости от числа и характера исполнительных формообразующих движений заготовки и инструмента.

Для получения в станке определенного исполнительного движения необходимо создать кинематическую связь между исполнительными звеньями станка – заготовкой и инструментом – и кинематическую связь данных звеньев с источником движения. Связи в большинстве случаев осуществляются с помощью механических звеньев как в цепях главного движения и подачи, так и во внутренних (формообразующих) цепях станков. Все цепи строятся как индивидуализированные конструкции для каждого типа станка, но различных габаритов и точности.

Характеристика механических внутренних (формообразующих) цепей металлорежущих станков

Механические кинематические цепи отличаются непостоянной жесткостью, обусловленной протяженностью цепи, жесткостью стыков в кинематических парах и их числом. Значительная протяженность кинематических цепей, особенно при сложном пространственном расположении рабочих органов, при большом числе промежуточных звеньев и значительном расстоянии между подвижными рабочими органами (узлами заготовки и инструмента) жесткие кинематические усложняются и снижают точность станка.

Использование механических кинематических связей во внутренних (формообразующих) цепях металлорежущих станков не удовлетворяет возрастающим требованиям повышения точности, жесткости, снижения металлоемкости, а особенно построению таких цепей по агрегатно-модульному принципу в станках различного технологического назначения и типоразмера. Это особенно необходимо в металлорежущих станках, имеющих сложные разветвленные многозвенные механические переналаживаемые цепи значительной протяженности, в которых требуется обеспечить жесткую функциональную связь для создания взаимосвязанных формообразующих движений заготовки и инструмента, таких как зубо- и резьбообрабатывающие станки. При проектировании и построении кинематических цепей, осуществляющих точные функционально связанные перемещения, необходимо предусмотреть меры для устранения зазоров между элементами кинематической цепи, особенно в конечных звеньях винтовых пар и червяных делительных передачах.

Кинематические цепи с механическими звеньями обеспечивают получение весьма точных передаточных отношений выходных звеньев и не требуют дополнительных поднастроек в процессе работы. Серьезным недостатком такого построения является то, что в каждом конкретном случае конструкция внутренних цепей строится как индивидуализированная для станков не только различного технологического назначения, но и одного типа и разного типоразмера.

Известные традиционные методы построения внутренних (формообразующих) цепей металлорежущих станков на основе механических связей и повышение их точности, которые сводятся к увеличению жесткости систем станков, выбору рациональной конструкции базовых деталей, повышению качества сборки и доводки узлов, достигли определенного предельного уровня влияния на точность станков и практически не имеет резервов повышения точности. Дальнейшие работы в этом направлении приводят к существенному повышению стоимости станка. Сокращение протяженности внутренних цепей станков возможно осуществить применением для их построения вместо механических связей гидравлических синхронных связей на основе шагового гидравлического привода, которые обеспечивают высокую точность согласованных угловых перемещений и возможность прямого непосредственного соединения исполнительного двигателя с нагрузкой, исключая промежуточные механические передачи, редукторы, коробки подач [1].

Применение гидравлических связей на основе шагового гидропривода для построения формообразующих цепей металлорежущих станков

Построение внутренних (формообразующих) кинематических цепей металлорежущих станков различного технологического назначения в виде гидравлических связей на основе шагового гидропривода позволяет значительно упростить их кинематическую структуру путем сокращения протяженности механических цепей, исключив из них ряд промежуточных звеньев, а также улучшить техноло-

гичность конструкции, используя принцип агрегатно-модульного построения. Появляется возможность сблизить и удобно расположить согласуемые органы станка, повысить точность и жесткость кинематических, цепей значительно снизить металлоемкость их конструкций и станка в целом. В основе построения кинематических формообразующих цепей станков лежит гидромеханическая передача «гидравлический вал» [2, 3].

Гидравлический шаговый привод представляет собой систему из трех агрегатов (блоков): источника рабочей жидкости, управляющего (коммутирующего) устройства и силового исполнительного гидравлического шагового двигателя (ГШД). В качестве силового исполнительного органа в них используется специальный ГШД, выходной вал которого обрабатывает дискретные управляющие сигналы с высокой точностью и большим усилением по мощности. Звеном настройки такой передачи служит генератор гидравлических импульсов, который соединен с шаговым гидродвигателем трубопроводами, преобразует энергию рабочей жидкости в гидравлические импульсы и распределяет их в определенной последовательности по рабочим камерам ГШД. Скорость вращения и суммарный угол поворота выходного вала ГШД пропорциональны соответственно частоте и числу поданных управляющих импульсов.

При использовании шагового гидропривода во внутренних цепях металло-режущих станков передаточное отношение между исполнительными органами гидравлической связи зависит от соотношения частот управляющих импульсов, формируемых генератором гидравлических импульсов (коммутирующим устройством) и подаваемых к исполнительным шаговым гидродвигателям приводов заготовки и инструмента. Так как для получения формообразующего движения необходимо обеспечить жесткую кинематическую связь между заготовкой и инструментом для осуществления требуемой функциональной зависимости между перемещениями рабочих органов, то из всех типов ГШД наиболее приемлемыми для применения во внутренних цепях станков являются двигатели с механической редукцией шага.

Используя особенности частотного регулирования скорости исполнительного ГШД и высокие компоновочные качества шагового гидропривода, представляется возможным применить гидравлические связи для построения внутренних (формообразующих) цепей станков, используя агрегатно-модульный принцип построения [4]. Рассмотрим структурные схемы станков различного технологического назначения, формообразующие цепи которых построены с использованием гидравлических связей на основе шагового гидропривода с разнообразными схемами коммутации потоков рабочей жидкости.

Построение внутренних (формообразующих) цепей металлорежущих станков на основе шагового гидропривода

На рисунке 1 представлена структурная схема копировально-фрезерного станка с гидравлическими формообразующими связями для обработки сложных поверхностей с модифицированной системой управления. Станок включает в себя инструмент 8, совершающий вращательное движение B_1 от электродвигателя Д через звено настройки i_v , заготовку 9, установленную на столе 7 станка.

Сложное исполнительное движение составляется из элементарных прямолинейных движений – продольного Π_1 и поперечного Π_2 , для чего применяется сменный копир, рабочая поверхность которого обеспечивает закономерность неравномерного поперечного перемещения Π_2 в зависимости от продольного перемещения Π_1 .

Рис. 1. Структурная схема копировально-фрезерного станка с гидравлическими формообразующими связями для обработки сложных поверхностей с модифицированной системой управления

Продольное перемещение Π_1 стола осуществляется от шагового гидродвигателя 16, кинематически связанного со столом посредством ходового винта 6 продольной подачи и управляемого генератором гидравлических импульсов 3, золотниковая втулка которого получает вращение от отдельного гидромотора 1. Поперечное перемещение Π_2 верхних салазок 10 с заготовкой 9, необходимое для воспроизведения требуемой фасонной поверхности заготовки, обеспечивается внутренней (формообразующей) связью между продольным суппортом 7 и верхними салазками 10 и осуществляется от шагового гидродвигателя 12, кинематически связанного с механизмом, преобразующим равномерное дискретное вращение выходного вала шагового гидродвигателя 12 с закрепленным на нем сменным копиром 11 в неравномерное перемещение верхних салазок 10 и состоящим из кулачка, жестко закрепленного на ходовом винте 15 поперечной подачи верхних салазок 10 с изделием 9 и управляемого генератором гидравлических импульсов 5, золотниковая втулка которого получает вращение от золотниковой втулки генератора гидравлических импульсов 3 цепи продольного перемещения продольного стола 7 станка. Рабочая жидкость к генераторам гидравлических импульсов поступает от насосной установки 2 по трубопроводу 4.

На рисунке 2 представлена структурная схема зубофрезерного станка с гидравлическими внутренними связями для нарезания конических колес с косыми (тангенциальными) зубьями червячной модульной фрезой методом обката с системой управления, построенной на базе двухкромочного золотника с торцовым распределением рабочей жидкости.

Рис. 2. Структурная схема зубофрезерного станка с гидравлическими внутренними связями для нарезания конических колес с косыми (тангенциальными) зубьями червячной модульной фрезой методом обката

Станок включает в себя инструмент *17*, совершающий вращательное движение от электродвигателя *Д* через звено настройки *16*, заготовку *16*, взаимодействующую с инструментом по цепи обката и получающую вращение от гидравлического шагового двигателя *14*, кинематически связанного со шпинделем заготовки и управляемого генератором гидравлических импульсов *15*, золотниковая втулка которого получает вращение от зубчатого колеса *12*, закрепленного на шпинделе инструмента *17*. Вертикальная подача инструмента осуществляется от гидравлического шагового двигателя *20*, кинематически связанного с ходовым винтом *21* вертикальной подачи инструмента. Радиальное перемещение стола с заготовкой, связанное определенной зависимостью с вертикальным перемещением инструмента, необходимое для воспроизведения наклонной образующей при обработке зубьев, расположенных на конической поверхности, осуществляется шаговым гидродвигателем *19*, кинематически связанным со столом посредством ходового винта *18* радиальной подачи.

Дифференциальное движение, необходимое для обеспечения дополнительного поворота заготовки при нарезании конических колес с тангенциальными зубьями, осуществляется шаговым гидродвигателем *9*, кинематически связанным с заготовкой через суммирующий механизм *11* в виде дифференциала с кониче-

скими колесами посредством червячной передачи 10 на управляемом генераторе гидравлических импульсов 23, золотниковая втулка которого получает вращение от зубчатого колеса 22, закрепленного на ходовом винте 21 вертикальной подачи фрезерного суппорта с инструментом. Управление шаговыми гидродвигателями 19 и 20 приводов радиальной подачи стола с заготовкой 16 и вертикальной подачи инструмента 17 осуществляется гидродвигателем с торцовым распределением рабочей жидкости от блоков 24 и 25, выполненных на базе двухкромочного золотника.

Настройка цепей радиальной подачи стола с заготовкой и вертикальной подачи инструмента на требуемое передаточное отношение для обеспечения величины конусности производится генератором гидравлических импульсов 3, который представляет собой устройство, выполненное в виде набора кодирующих дисков, закрепленных на общей оси и получающих вращение от отдельного гидромотора 4. Количество таких кодирующих дисков в генераторе определяет общее число передаточных отношений гидравлической связи.

В момент, когда выступ вращающегося диска генератора гидравлических импульсов находится напротив рабочей щели и перекрывает ее, происходит скачкообразное повышение управляющего давления в междроссельной камере, в результате чего происходит переключение гидрораспределителя. При отсутствии управляющего сигнала (импульса давления) распределитель находится в левом положении под действием давления питания. Рабочая жидкость для получения управляющих импульсов для гидрораспределителей с торцовым распределением рабочей жидкости поступает от насосной установки 1 через блок управляемых дросселей 6. Генератор гидравлических импульсов обеспечивает постоянное для данной настройки отношение частот гидравлических импульсов давления, а следовательно, частот вращения выходных валов гидравлических шаговых приводов радиальной подачи заготовки и вертикальной подачи инструмента.

Коммутация потоков рабочей жидкости по силовым каналам и рабочим камерам ГШД зависит от того, какая щель управляющих каналов перекрыта в данный момент выступом вращающегося кодирующего диска генератора гидравлических импульсов. Передаточное отношение между исполнительными шаговыми двигателями 19 и 20 гидравлической связи зависит от соотношения частот гидравлических импульсов, формируемых генератором гидравлических импульсов и подаваемых к исполнительным силовым шаговым двигателям, которые приводят во вращение заготовку и ее поступательное перемещение для обеспечения жесткой кинематической связи, и определяется числом гидравлических импульсов, подаваемых за один оборот блока кодирующих дисков генератора гидравлических импульсов.

Изменение передаточного отношения цепи обката (деления) производится перемещением ползушек 2 на корпусе генератора гидравлических импульсов относительно периферии кодирующего диска с различным числом выступов, осуществляя коммутацию потоков рабочей жидкости по силовым каналам в зависимости от того, какая щель управляющих каналов перекрыта в данный момент времени выступом вращающегося диска генератора импульсов. Давление питания на вход каждого из гидрораспределителей подается через регулируемый дроссель блока дросселей 6 от насосной установки 7, а затем, в зависимости от положения торцовых гидрораспределителей, по одному из каналов поступает в рабочие камеры шаговых гидродвигателей 19 и 20 приводов радиальной подачи стола с заготовкой и вертикальной подачи инструмента.

На рисунке 3 приведена структурная схема резбобфрезерного станка с гидравлическими формообразующими связями для нарезания длинных конических винтовых поверхностей переменного шага [5, 6] с модифицированным механизмом приращения шага.

Рис. 3. Структурная схема резбифрезерного станка с гидравлическими формообразующими связями для нарезания длинных конических винтовых поверхностей переменного шага с модифицированным механизмом приращения шага

Станок включает в себя инструмент 9 – дисковая фреза с профилем, соответствующим профилю нарезаемой винтовой поверхности и совершающим вращательное движение от электродвигателя Д₁ через звено настройки i_v , и заготовку 15, которая совершает вращение (движение круговой подачи) от электродвигателя Д через звено настройки.

Резбифрезерный станок для обработки конических винтовых поверхностей переменного шага включает в себя кинематическую цепь вращения шпинделя с заготовкой (движение круговой подачи), кинематическую цепь начального шага, связывающую между собой вращение шпинделя с заготовкой и продольное перемещение суппорта с фрезерной головкой, цепь изменения шага винтовой поверхности, связывающая цепь начального шага и суммирующий механизм, задающий закон изменения шага, выполненного в виде дифференциала из конических колес.

Формообразование винтовой линии переменного шага осуществляется в результате сложения двух движений: равномерного продольного перемещения суппорта по кинематической цепи начального шага и дополнительного перемещения по цепи приращения шага посредством суммирующего механизма, выполненного в виде дифференциала с коническими колесами. Продольное перемещение суппорта 7 с фрезерной головкой, несущей инструмент 9 (цепь начального шага винтовой поверхности), осуществляется от шагового гидродвигателя 5, кинематически связанного с суппортом 18 посредством ходового винта 2 продольной подачи и управляемого генератором гидравлических импульсов 11, золотниковая втулка которого передает импульсы от приводного зубчатого колеса 10, жестко закрепленного на шпинделе заготовки 15. Поперечное перемещение верхних салазок 18

с инструментом 9, связанное определенной зависимостью с продольным перемещением продольного суппорта 7 для конической винтовой наклонной поверхности, производимое шаговым гидродвигателем 16, кинематически связанным с ходовым винтом 17 поперечной подачи верхних салазок 18 и управляемым генератором гидравлических импульсов 13, золотниковая втулка которого получает вращение от генератора гидравлических импульсов 11, управляемого шаговым гидродвигателем 5 цепи продольного перемещения продольного суппорта 7 через несиловую гитару сменных зубчатых колес i_s .

Дополнительное перемещение суппорта с инструментом, обеспечивающее необходимую величину приращения шага винтовой поверхности, осуществляется от шагового гидродвигателя 1, кинематически связанного посредством червячной передачи 3 с суммирующим механизмом 4, выполненным в виде дифференциала с коническими колесами и управляемым генератором гидравлических импульсов 6, золотниковая втулка с рабочими щелями которого получает вращение от шпинделя заготовки 15 через зубчатую передачу 8, 10.

Рабочая жидкость к генераторам гидравлических импульсов подается от насосной установки 12 по трубопроводу 14.

Заключение

Эффективность использования во внутренних цепях станков гидравлических связей на основе шагового гидропривода с силовыми исполнительными ГШД по сравнению с использованием традиционных механических цепей достигается за счет следующих основных факторов:

- 1) обеспечения конструктивной однородности внутренних кинематических связей между конечными звеньями цепей – заготовкой и инструментом для станков различного технологического назначения и разных типоразмеров;
- 2) уменьшения металлоемкости и массы станка за счет сокращения до возможного минимума числа промежуточных звеньев, составляющих механическую кинематическую цепь;
- 3) обеспечения конструктивной преемственности при создании станков благодаря типизации конструкции внутренних кинематических цепей на основе гидравлической связи в виде шагового гидропривода;
- 4) реализации агрегатно-модульного принципа проектирования и построения внутренних кинематических цепей металлорежущих станков [7, 8].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 17-48-680787).

Список литературы

1. Колодин, А. Н. Затыловочные станки с гидравлическими формообразующими связями: монография / А. Н. Колодин, В. А. Ванин, А. А. Родина. Deutschland : LAP Lambert Academic Publishing, 2015. – 169 с.
2. Ванин, В. А. Станки с гидравлическими внутренними (формообразующими) связями на основе шагового гидропривода для обработки винтовых поверхностей / В. А. Ванин, А. Н. Колодин // Справочник. Инженерный журнал с приложениями. – 2012. – № 7 (184). – С. 30 – 35.
3. Металлорежущие станки с гидравлическими связями на основе шагового гидропривода во внутренних (формообразующих) цепях / В. А. Ванин [и др.] / Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2013. – Т. 19, № 1. – С. 167 – 176.
4. Применение шагового гидропривода для построения формообразующих цепей металлорежущих станков со сложными движениями формообразования / В. А. Ванин [и др.] // Вопросы соврем. науки и практики. Ун-т им. В. И. Вернадского. – 2014. – № 1 (50). – С. 250 – 259.

5. Ванин, В. А. Резьбообрабатывающие станки с гидравлическими формообразующими связями на основе шагового гидропривода для обработки винтовых поверхностей переменного шага / В. А. Ванин, А. Н. Колодин, А. А. Родина // Вестн. машиностроения. – 2014. – № 7. – С. 37 – 45.

6. Vanin, V. A. Modular Design Based on Hydraulic Step Drives for Internal Kinematic Chains in Metal-Cutting Machines / V. A. Vanin, A. N. Kolodin // Russian Engineering Research. – 2010. – No. 30 (12). – P. 1248 – 1251.

7. Vanin, V. A. Application of Hydraulic Step Drives in Metal-Cutting Machine Tools / V. A. Vanin, A. N. Kolodin // Russian Engineering Research. – 2010. – No. 30 (5). – P. 446 – 450.

8. Vanin, V. A. Kinematic Structure of Metal-Cutting Machines with Hydraulic Couplings / V. A. Vanin, A. N. Kolodin, A. A. Rodina // Russian Engineering Research. – 2015. – No. 34 (12). – P. 763 – 768.

Forming Chains of Metal-Cutting Machines Based on Hydraulic Connections

V. A. Vanin, A. N. Kolodin, A. A. Rodina

*Department of Computer Integrated Systems in Mechanical Engineering,
TSTU, Tambov, Russia; kafedra@mail.gaps.tstu.ru*

Keywords: internal communications; generator of hydraulic impulses; hydraulic connections; hydraulic stepper motor; hydraulic stepper drive; thread-milling machines; forming connections.

Abstract: The paper explores the possibility of synthesis and optimization of the constructing internal (forming) chains of metal-cutting machines of various technological purposes in the form of hydraulic synchronous coupling based on the stepping hydraulic drive; the possibility of applying a modular principle to improve accuracy, reduce metal consumption, and create a rational design of machine chains is considered.

References

1. Kolodin A.N., Vanin V.A., Rodina A.A. *Zatylovochnyestanki s gidravlicheskimimi formoobrazuyushchimi svyazyami* [Backing machines with hydraulic formative relationships], Deutschland: LAP Lamber Academic Publishing, 2015, 169 p. (In Russ.)

2. Vanin V.A., Kolodin A.N. [Machines with hydraulic internal (formative) linkages based on hydraulic stepper for processing screw surfaces], *Spravochnik. Inzhenernyi zhurnal s prilozheniyami* [Handbook. An Engineering journal with Applications], 2012, no. 7 (184), pp. 30-35. (In Russ.)

3. Vanin V.A., Kolodin A.N., Do M.Z., Damap M.M. [Metal-cutting machines with hydraulic connections on the basis of a step-type hydraulic drive in internal (forming) chains], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2013, vol. 19, no. 1, pp. 167-176. (In Russ., abstract in Eng.)

4. Vanin V.A., Kolodin A.N., Averin A.S., Khramova N.A. [Application of the hydraulic drive for the construction of stepper shaping circuits of machine tools with complex movements shaping], *Problems of Contemporary Science and Practice. Vernadsky University*, 2014, no. 1(50), pp. 250-259. (In Russ., abstract in Eng.)

5. Vanin V.A., Kolodin A.N., Rodina A.A. [Threading machines with hydraulic forming connections on the basis of a stepping hydraulic drive for processing screw surfaces of variable pitch], *Vestnik mashinostroeniya* [Bulletin of Machine Building], 2014, no. 7, pp. 37-45. (In Russ.)

6. Vanin V.A., Kolodin A.N. Modular design based on hydraulic step drives for internal kinematic chains in metal-cutting machines, *Russian Engineering Research*, 2010, no. 30 (12), pp. 1248-1251.

7. Vanin V.A., Kolodin A.N. Application of hydraulic step drives in metal-cutting machine tools, *Russian Engineering Research*, 2010, no. 30 (5), pp. 446-450.

8. Vanin V.A., Kolodin A.N., Rodina A.A. Kinematic structure of metal-cutting machines with hydraulic couplings, *Russian Engineering Research*, 2015, no. 34 (12), pp. 763-768.

Formgebende Ketten der metallschneidenden Werkzeugmaschinen auf Basis der hydraulischen Bindungen

Zusammenfassung: Es ist die Möglichkeit der Synthese und Optimierung der Konstruktion der inneren (formgebenden) Ketten der metallschneidenden Werkzeugmaschinen verschiedener technologischer Zwecke in Form hydraulischer synchroner Kommunikation auf der Basis eines Schritthydraulikantriebs mit dem Ziel der Anwendung des aggregatmodularen Prinzips in Betracht gezogen, um die Genauigkeit zu erhöhen, den Metallverbrauch zu reduzieren und eine rationelle Konstruktion der Maschinenketten zu schaffen.

Circuits des machines-outils travaillant le métal par formage à la base de liens hydrauliques

Résumé: Est envisagée la possibilité de la synthèse et de l'optimisation de la construction des circuits internes (qui donnent une forme) des machines-outils travaillant le métal par formage de la diverse destination technologique en tant que le lien hydraulique synchrone à la base de la commande hydraulique pas à pas dans le but de l'application du principe d'agrégat et de module pour l'augmentation de la précision, la réduction du content du métal, la création de la conception rationnelle des circuits de la machine.

Авторы: *Ванин Василий Агафонович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении»; *Колодин Андрей Николаевич* – старший преподаватель кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении»; *Родина Антонина Александровна* – старший преподаватель кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.

Рецензент: *Мордасов Денис Михайлович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Материалы и технология», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.