Система управления стендом сушки и высокотемпературного разогрева сталеразливочных ковшей

Виктор Спирин, Андрей Савин, Владимир Чистяков, Илья Саган, Антон Добшиков, Александр Бельков

В статье описана архитектура системы управления для установки разогрева сталеразливочных ковшей в металлургическом производстве. Рассмотрены вопросы программной реализации требуемых законов управления технологическими режимами.

Введение

В настоящее время на большинстве металлургических комбинатов России для разливки стали из сталеплавильных агрегатов применяются ковши, футерованные огнеупорным кирпичом. Электросталеплавильное производство Орско-Халиловского металлургического комбината (ОАО «Носта» – рис. 1) переходит на футеровку сталеразливочных ковшей монолитной огнеупорной массой австрийской фирмы Файч-Радекс. Использование монолитных материалов позволяет существенно увеличить срок службы огнеупорного слоя и в итоге уменьшить издержки на эксплуатацию ковшей.

Ковш после ремонта футеровки необходимо высушить и нагреть для приема стали примерно до 1000... 1200°С. Высокая температура футеровки необходима, чтобы уменьшить тепловой удар при контакте с расплавленной сталью (ее температура около 1600°С). Постепенности процесса сушки придается особенно большое значение, так как при резком разогреве влажной футеровки или в случае контакта ее с расплавленной сталью возможно местное взрывное разрушение. Это приводит к уменьшению ресурса ковша, а в некоторых случаях и к возникновению аварийных ситуаций («уход» расплавленного металла).

Поэтому сушку и разогрев ковша с монолитной футеровкой необходимо производить по строго определенной температурно-временной диаграмме, регламентированной технической документацией фирмы Файч-Радекс на технологию футеровки монолитной массой.

Для ковшей, футерованных кирпичом, высокотемпературный разогрев по заданной временной программе также позволяет заметно увеличить ресурс футеровки, хотя требования к постепенности нагрева не такие жесткие, как в случае монолитной футеровки.

Ресурс футеровки любого ковша определяется количеством и глубиной циклов нагрева и остывания, связанных с разливкой очередной плавки и паузой между плавками. Поэтому очень важна правильная цикличность всего процесса сталеплавильного производства и минимизация интервалов между разливками. Для уменьшения неизбежно возникающих циклических тепловых нагрузок на футеровку ковшей необходимо в паузах между плавками поддерживать высокую температуру футеровки.

Для решения всех перечисленных задач применяют установки сушки и высокотемпературного разогрева футеровки сталеразливочных ковшей на основе различных газовых горелок. Мощность использующихся на комбинате горелок ГНП-9 недостаточна, чтобы обеспечить нагрев футеровки ковша до заданной температуры. Кроме того, эти горелки не обладают автоматической системой управления, необходимой для правильной отработки временной программы сушки и разогрева. Чтобы разрешить указанные технологические проблемы, перед коллективом исполнителей была постав-



Рис. 1. Орско-Халиловский металлургический комбинат

© 2000 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru



Рис. 2. Стенд сушки и разогрева сталеразливочных ковшей

лена задача создания соответствующей промышленной установки.

Стенд сушки и высокотемпературного разогрева

В процессе решения поставленной задачи был спроектирован, изготовлен и введен в эксплуатацию стенд сушки и разогрева сталеразливочных ковшей (рис. 2).

Стенд оборудован крышкой, футерованной каолиновым фетром, в которую вмонтирована двухконтурная газовоздушная турбулентная пульсирующая горелка с вихревой стабилизацией факела. Рабочая горелка снабжена дополнительной запальной горелкой с электрическим розжигом.

Данный проект является совместной разработкой Института прикладной металлургии (технологическое обеспечение), концерна «Струйные технологии» (разработка горелки, металлоконструкций стенда, газовоздушной арматуры), лаборатории НИОКР Миасского филиала Южно-Уральского Государственного Университета (система управления).

Система управления

Основной задачей системы управления (рис. 3) является отработка выбранных оператором температурно-временных диаграмм с контролем всех основных параметров технологического процесса, а также немедленная реакция на аварийные события в ходе нагрева. Кроме того, система должна обеспечивать диалог с человеком, включающий:

- информирование о текущих значениях параметров техпроцесса,
- редактирование температурно-временных диаграмм,
- отображение сообщений об аварийных событиях,
- ведение архива событий и его отображение (по требованию).

Система управления (СУ) стендом сушки и разогрева сталеразливочных ковшей в своем стартовом исполнении реализована на базе программируемого логического контроллера (PLC) DirectLOGIC-205 с процессором DL250, поддерживающим операции с плавающей точкой. Данный контроллер имеет крейтовую архитектуру.

В качестве устройств ввода-вывода использовались следующие стандартные модули:

- счетный модуль (D2-CTRINT),
- модуль ввода дискретных сигналов (D2-16ND3-2),
- модуль ввода сигналов с термопар (F2-04THM),
- модуль ввода сигналов с токовых датчиков (F2-08AD-1),
- модуль ввода сигналов с датчиков уровней напряжений (F2-08AD-2),
- модуль вывода дискретных сигналов (D2-16TD1-2),
- релейный модуль (F2-08TRS).

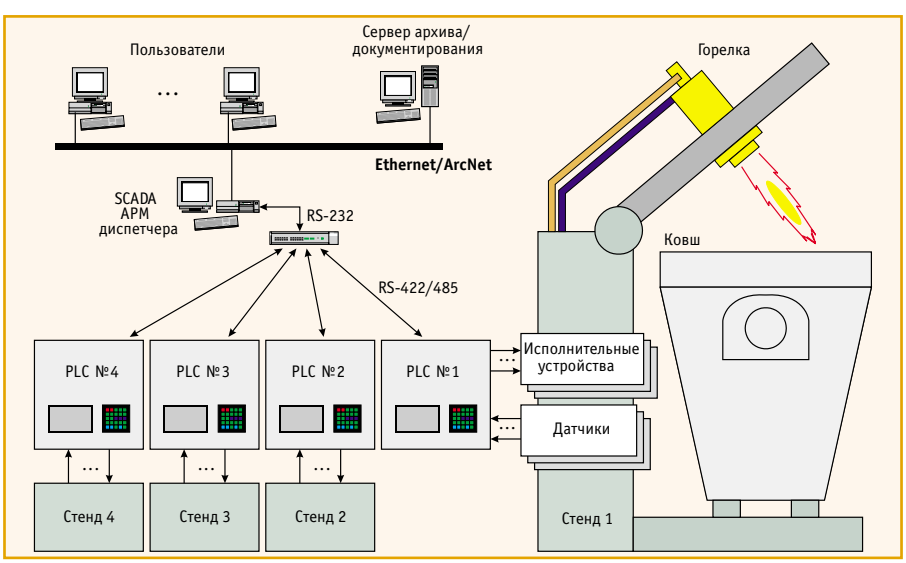

Рис. 3. Структура системы управления

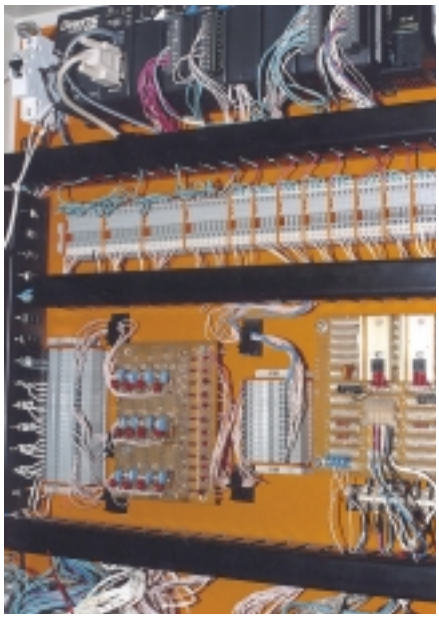

Рис. 4. Размещение контроллера в шкафу Schroff

Конструктивно аппаратура СУ смонтирована в промышленных шкафах фирмы Schroff с габаритными размерами 600·600·220 мм и со степенью защиты IP66 (рис. 4). В качестве внутришкафного кросса использованы клеммные колодки WAGO.

Оператор стенда выбирает режим сушки или нагрева ковша при помощи одного двухпозиционного тумблера и пяти кнопок. Положение тумблера задает тип нагрева: ручной (отработка статической уставки по мощности горелки) или автоматический (исполнение выбранной температурно-временной диаграммы). В зависимости от положения тумблера нажатие одной из пяти кнопок задает режим нагрева и запускает техпроцесс.

Для отображения основных параметров техпроцесса, а также для обеспечения диалога с оператором-технологом в части редактирования параметров диаграммы и статических уставок по мощности горелки использована панель оператора DV-1000 (рис. 5).

Языком программирования контроллера является язык релейных диаграмм (LD – Ladder Diagram), соответствующий стандарту МЭК 61131-3 для программного обеспечения промышленных контроллеров. Имеется ком-



Рис. 5. Панель оператора

© 2000 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru

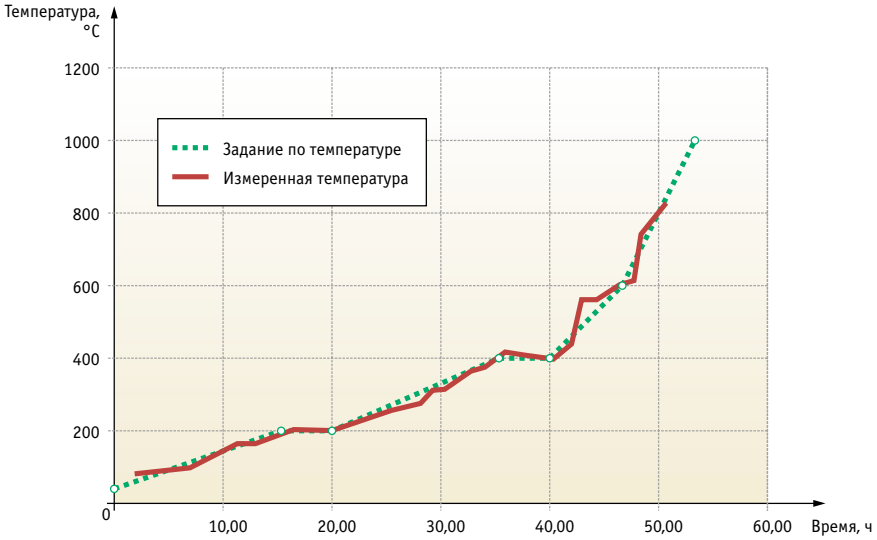

Рис. 6. Диаграмма нагрева ковша

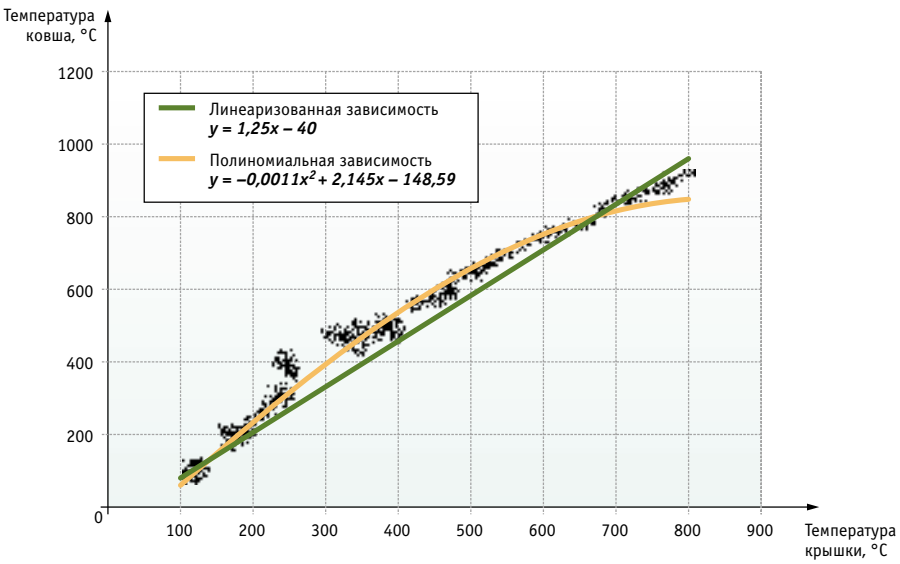

Рис. 7. Экспериментальная зависимость температур нагрева футеровки ковша и крышки

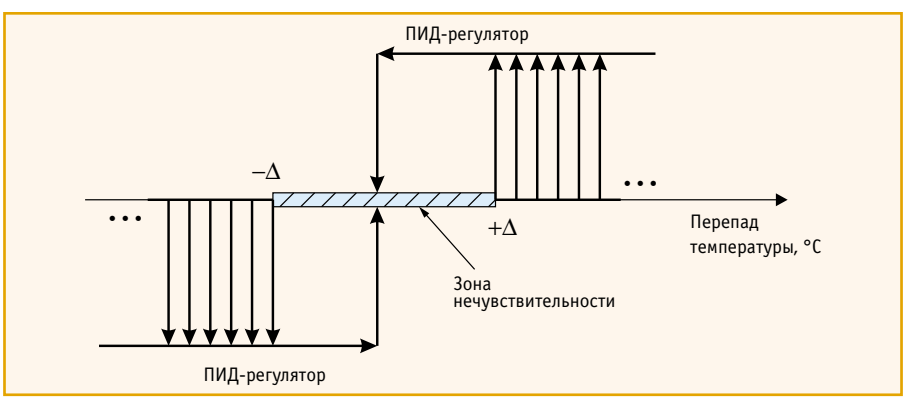

Рис. 8. Управление с зоной нечувствительности для исполнительных устройств

пьютерная интегрированная среда визуального программирования и отладки, при этом отлаженная программа загружается в энергонезависимую флэш-память контроллера через стандартный интерфейс RS-232C.

Контроль температуры

Основной проблемой при разработке системы управления была задача контроля температуры ковша во время нагрева. Правила эксплуатации монолитной защитной футеровки ковшей требуют выдерживать температуру во всем диапазоне нагрева (от 50 до 1000°С) в пределах ±10% от номинала, заданного диаграммой (рис. 6). Экспериментальные замеры с периодом 1 час (46 точек) показывают удовлетворительную сходимость истинной и заданной диаграмм. Исключением является 42-й час, а точнее – температура 430°С, когда скважность газового клапана уже максимальная (100%) и открывается проходной клапан к параллельной газовой заслонке. Хотя угол открытия заслонки измеряется еще как нулевой, реальная «неплотность» узла приводит к ступенчатой добавке мощности в горелку. Указанная погрешность имеет аппаратную причину, не устранимую на данном этапе, и исчезает по мере роста температуры.

При регулировании мощности горелки для замыкания обратной связи по температуре ковша было решено использовать показания термопар на футерованной крышке стенда, поскольку невозможно установить какие-либо температурные датчики непосредственно на рабочий ковш. Эти данные носят косвенный характер, поэтому потребовался тщательный экспериментальный анализ для выявления корреляции между температурой крышки и действительной температурой футеровки ковша. Для этого был проведен нагрев экспериментального ковша (с установленными на его футеровке технологическими термопарами) в режиме ручного управления мощностью горелки в соответствии с заданной временной зависимостью температуры футеровки ковша. В результате была получена зависимость между температурой поверхности футеровки ковша (средняя по пяти точкам на внутренней поверхности ковша) и температурой футеровки крышки стенда (рис. 7), а также оптимальные соотношения расхода воздуха и расхода газа для различных этапов сушки и разогрева. В дальнейшем эта зависимость была использована для автоматического регулирования по температурной диаграмме, заданной для поверхности ковша.

Кроме контроля температуры, требовалось также обеспечить ресурсосберегающий режим работы исполнительных устройств (газовых клапанов и приводов газовых заслонок). Для этого реализовано управление со знакозависимой зоной нечувствительности (рис. 8) в рабочем допусковом диапазоне D = ±5% от номинала.

Особенности регулирования

Для разработки эффективной системы управления желательно было знать передаточную функцию объекта. Было известно, что первоначально термодинамическая модель ковша представля-

© 2000 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru

ет собой последовательное соединение бесконечного количества апериодических звеньев первого порядка. Если футеровку ковша по мере продвижения от внутренней (внутриковшовой) поверхности к внешней броне разбить на некоторое количество условных слоев, то каждый слой, являющийся звеном чистого запаздывания по передаче температуры, нагреваясь под воздействием факела по экспоненциальной зависимости, по мере нагрева передает тепло следующему условному слою, и т.д. При стационарном тепловом воздействии через достаточно длительный промежуток времени все условные слои оказываются «связанно» нагретыми, то есть многозвенная модель ковша с течением времени стремится к передаточной функции одного апериодического звена первого порядка со своей постоянной времени.

Для определения постоянной времени комплексного объекта, включающего в себя футерованный монолитной массой ковш, закрытый футерованной крышкой стенда, был проведен натурный эксперимент. После подачи ступенчатого теплового воздействия мощностью 1 МВт были сняты показания термопар в крышке стенда. Вычисленная по результатам измерений постоянная времени объекта составила около 30 минут.

При выборе типа и параметров регулятора для системы управления был использован программный пакет математического моделирования VisSim v2.0 (рис. 9), который позволил визуально отработать модель поведения всей системы в целом. В качестве автоматического регулятора было выбрано пропорционально-интегральное звено с постоянной времени 30 минут. Моделирование позволило отрабатывать уставку с высокой точностью и допустимым фазовым запаздыванием.

В параметрах эмуляции VisSim было задано время пересчета, равное длительности цикла контроллера СУ (около 30 мс). Это позволило все коэффициенты ПИД-регулятора (рис. 10) перенести на вычислительную платформу контроллера без какой-либо корректировки, при этом взят коэффициент производной от ошибки Q_d=0. В процессе разработки регулятора были учтены технические характеристики стенда: минимальная и максимально допустимая мощность горелки, нелинейности исполнительных механизмов (клапанов и заслонок в газовом и воздушном трактах горелки) ти-

© 2000 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru

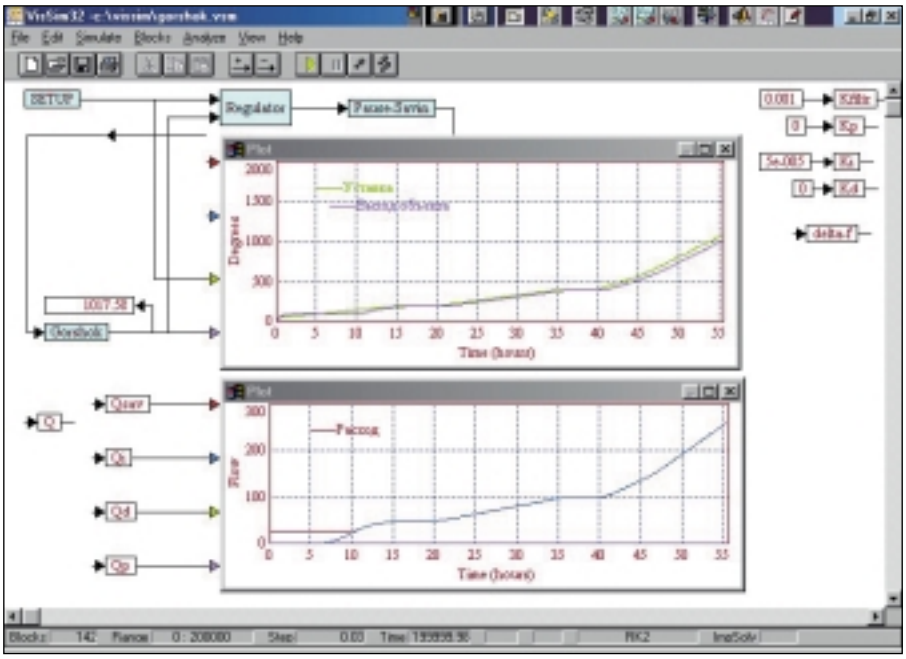

Рис. 9. Моделирование системы

па «ограничение по уровню», «зона нечувствительности», «ограничение по скорости». Кроме того, с учётом двухконтурности горелки для разных уровней мощности предусмотрены соответствующие управляющие воздействия: ШИМ-модулированное управление газовым клапаном для малых уровней мощности горелки и аверс/реверс электропривода газовой заслонки (до достижения нужного угла открытия) для верхнего диапазона мощности горелки.

Контроль параметров, анализ неисправностей

В течение всего процесса СУ отслеживает аварийные ситуации, такие как выход за допуск по давлению и расходу воздуха и газа, наличие пламени, правильность работы исполнительных механизмов и т. д. Все возможные неисправности разбиты на 2 группы.

1. Неисправности, не приводящие к автоматическому останову техпроцесса. В этом случае контроллер запрещает дальнейшее увеличение мощности горелки путем фиксирования уставки и выдает звуковой и световой сигналы оповещения.

2. Неисправности, приводящие к автоматическому останову техпроцесса (аварии). В этом случае контроллер производит гашение горелки, отсекает газ, выдает звуковой и световой сигналы оповещения и переходит в исходное состояние.

В случае возникновения аварийной ситуации характер световой и звуковой сигнализации позволяет определить тип аварии, а на символьной панели оператора высвечивается код возникшей неисправности.

Заключение

Стенд сушки и разогрева сталеразливочных ковшей вертикального типа запущен в опытно-промышленную эксплуатацию в электросталеплавильном цехе Орско-Халиловского металлургического комбината (г. Новотроицк) в марте 1999 года.

По отзывам работников комбината, установка полностью справляется со своей задачей. Максимально упрощенное взаимодействие с оператором позволило персоналу легко освоить работу с установкой, манипулировать технологическими режимами сушки и нагрева, отслеживать возникшие неисправности. Запуск техпроцесса осуществляется нажатием всего одной кнопки; все дальнейшие функции (розжиг, управление и контроль состояния процесса) система управления берет на себя. Переход между режимами сушки и высокотемпературного разогрева осуществляется «на лету», то есть без гашения горелки, что позволяет производить гибкую подготовку ковша к приему стали без потерь времени и тепловой энергии.

Экономический эффект от внедрения данной автоматизированной технологии изготовления и нагрева монолитной футеровки для сталеразливочных ковшей можно оценить следующим образом. Традиционная теплозащита позволяла выдерживать около 20 наливов на один ковш, после чего требовалась полная реконструкция слоя футеровки (общие затраты на такую операцию составляют до 1 млн. руб.). Ковш с новой монолитной футеровкой, проходящий термоподготовку на автоматизированном стенде нагрева, выдерживает до 460 наливов с небольшими доводками через каждые 70 наливов. Следовательно, вложенные средства окупаются ранее чем через год, обеспечивая далее стабильную годовую экономию не менее 5 млн. руб. на один ковш.

Начиная с февраля 2000 года, комбинат увеличивает количество стендов сушки и разогрева сталеразливочных ковшей (вертикальные и горизонтальные модификации).

В этих реализациях стендов для систем управления осуществляется запланированный переход на термостойкие и эффективные контроллеры типа 6050 Octagon Systems в сочетании с соответствующими адаптерами ввода-вывода. Это позволит строить систему на платформе операционной системы реального времени QNX с организацией сети контроллеров, включая SCADA/HMI-уровень АСУ ТП, с учетом последующей интеграции комплекса в единое информационное пространство предприятия. ●

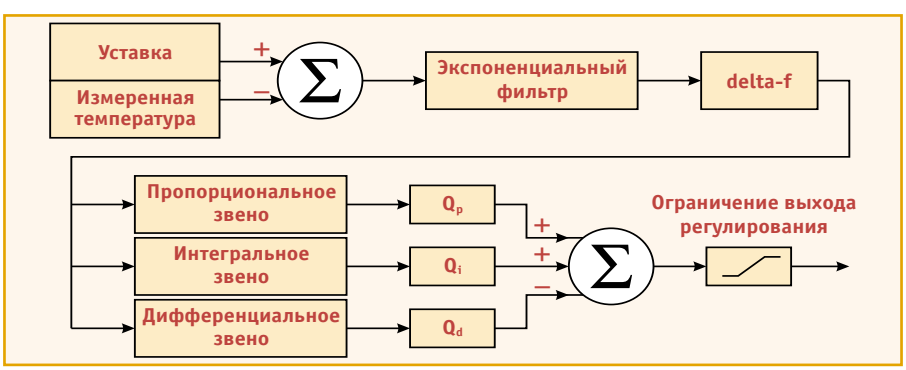

Рис. 10. Структура регулятора

Авторы — сотрудники Института прикладной металлургии, концерна «Струйные технологии», лаборатории НИОКР МФ ЮУрГУ
Телефон: (035135) 228-85

© 2000 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru