

Комплексный подход в оперативной диагностике электрических машин

В.И. Завидей (Москва, Россия)

Zavidey@vei.ru

с.н.с., д.т.н. ФГУП ВЭИ

С.В. Милованов

ООО «Панатест»

Представлен анализ современных методов и средств диагностики технического состояния асинхронных и синхронных электродвигателей и рекомендации по выбору оптимальных систем контроля для применения на действующем и отключённом оборудовании. Показано, что основываясь на измерениях комплекса основных параметров, полученных одной системой контроля, обслуживание и ремонт электрических машин может производиться по их техническому состоянию без плановых отключений, вскрытия и профилактических испытаний.

Материалы и методы

Прибор контроля цепи питания электродвигателя ALL-TEST IV PRO

Ключевые слова

systems of control Electrical motors, diagnostics of electrical motors

Complex approach for rapid diagnostics of electrical machines

Authors

Viktor I. Zavidey (Moscow, Russia)

doctor of the technical science.

FGE All Union E I

Sergey V. Milovanov

PANATEST Ltd

Abstract

Is represented the analysis of contemporary methods and means of diagnostics of the technical state of asynchronous and synchronous electric motors and recommendation regarding the selection of the optimum systems of control for the application on operating and off equipment. It is shown that, being based on the measurement of the complex of the basic

Силовые трансформаторы, и электрические двигатели являются главными составляющими в системах распределения и потребления электрической энергии. Синхронным и асинхронным электроприводом потребляется более половины электроэнергии, производимой в мире. Силовые трансформаторы конечных потребителей представляют наиболее многочисленную группу электрических аппаратов, влияющих на стабильность энергоснабжения предприятий и населения. Сбои электроснабжения, повреждение электродвигателей ведет к нарушению технологических процессов, повышенному браку продукции, дополнительным затратам на их восстановление и ремонт, а также на нормализацию технологического процесса. Непланные аварии, как правило, сопряжены со значительными экономическими издержками, особенно в ключевых отраслях производства (энергетика, нефтегазодобыча, транспорт и др.).

Оперативному диагностированию технического состояния электрических машин в рабочих режимах или кратковременных остановках уделяется значительное внимание, но из-за их огромного количества ограничивается тепловизионным контролем и измерением вибрационных характеристик электрических двигателей. В этой связи разработка методов и измерительных систем определения комплексных характеристик, позволяющих с высокой вероятностью определить техническое состояние аппаратов и снизить ущерб от этих прецедентов за счет раннего обнаружения зарождающихся дефектов.

Системы и методы диагностики электрооборудования можно разделить на две основные группы. К первой группе относятся методы тестовой диагностики, требующие формирования искусственных возмущений, воздействующих на изучаемый объект: измерение сопротивления изоляции, токов утечки, внутреннего сопротивления обмоток, тангенса угла диэлектрических потерь обмоток, и др. Вторая группа включает в себя методы оперативной диагностики, используемые для электрооборудования, являющегося источником естественных возмущений в процессе работы. Каждая группа в свою очередь делится на две других — это методы, позволяющие обнаружить неисправность электрооборудования в целом и методы, выявляющие конкретную неисправность или дефект. Тестовое диагностирование — основной вид выявления дефектов электрооборудования в отечественной энергетике. Им и определяется структура технического обслуживания и ремонта по регламенту. Подобный подход часто способствует появлению дефектов. Так, при проведении плановых ремонтов электрических машин, двигатель подвергается высоковольтным испытаниям, которые вызывают появление в обмотке частичные разряды и микродефекты, развивающихся в процессе работы электромашины. Каждое высоковольтное испытание увеличивает число дефектов и в конечном

итоге приводит повреждению электрического двигателя.

Для перехода с обслуживания и ремонта по регламенту на ремонт и обслуживание по фактическому состоянию необходимо применение методов диагностики не только относящихся к категории функциональных, но и позволяющих выявить дефект конкретной части электрооборудования.

Разработки и исследования последних лет за рубежом в части развития методов и средств контроля и анализа текущего технического состояния электродвигателей позволяет реализовать технологию обслуживания «по состоянию» актуальную для российской промышленности [1, 2]. Основная задача заключается в том, что обслуживание и ремонт производятся в зависимости от реального текущего технического состояния электрических машин, контролируемых в процессе эксплуатации, без разборок основываясь на измерениях ряда основных параметров. При этом затраты на техническое обслуживание электрических машин многократно снижаются по сравнению с обслуживанием по системе планово-предупредительных ремонтов.

Среди электрических повреждений в электрических машинах наиболее часто повреждаются обмотки статоров 37% и роторов 9%, для диагностирования которых предложено ряд методов. Для диагностирования обмоток ротора короткозамкнутого асинхронного электродвигателя предложено использовать контроль пускового тока статора, в некоторых работах [3] оценка технического состояния обмоток электродвигателя осуществляется по величине гармонических составляющих тока статора. В работах [4, 5] диагностирование стержней короткозамкнутого ротора асинхронных электродвигателей производится с использованием пульсаций обобщенного вектора тока статора на работающем двигателе. К недостаткам указанных методов можно отнести возможные ошибки в определении технического состояния при изменении питающего напряжения и высокочастотных помех. Важную роль в обеспечении нормальной работы электродвигателей играет качество питания, уровень перенапряжений, наличие в сети высокочастотных гармоник тока и напряжения, небаланс фаз.

Согласно «Нормам испытаний...» техническое состояние электродвигателей определяется измерениями сопротивления изоляции, сопротивлений обмоток постоянному и переменному току и результатами высоковольтных испытаний, на отключенном двигателе. На работающий электродвигатель проводится измерения токов статорных обмоток и вибрационный и тепловизионный контроль корпусных элементов, узлов присоединения и подшипников. Как видно, полный контроль параметров двигателя требует проведения значительного числа разнородных измерительных операций, измерительных приборов. Как правило, в полной мере подобные

измерения оперативным персоналом не выполняются.

Анализ тенденций в области технической диагностики электродвигателей показывает, что определилось два направления их развития. К первому направлению относятся методы и средства, осуществляемые при проведении профилактических испытаний и ремонтов (т.е. на неработающих электродвигателях) и позволяющие выявлять электрические повреждения цепей и статорных обмоток. Ко второму направлению относятся методы, применяемые на работающих электродвигателях, и позволяющие судить о наличии дефектов определенного типа, например дефектов подшипников, изоляции статорной обмотки и др.

Целью и задачей данной работы является сопоставительный анализ развиваемых в последние годы интегрированных систем диагностики технического состояния электродвигателей.

Наиболее эффективными, представляются подходы, связанные с одновременным получением возможно более полной информации о наличии дефектов на отключенных двигателях (статические испытания) и в работе (динамические испытания). Корреляция статических и динамических данных испытаний дает возможность независимо оценить реальное техническое состояние двигателя различными методами и дать надежный прогноз его работоспособности.

Среди систем подобного назначения, в которых достигнута реализация этих возможностей, можно назвать «анализатор цепей двигателей» и «систему динамического анализа двигателей», производимых компанией ALL TEST Pro. LLC. В данных приборах предусмотрено использование программного обеспечения, для анализа данных измерений и формирования базы обследуемых объектов, что позволяет получать временные тренды изменений параметров контроля. Технология и системы диагностики ориентированы на обнаружение наиболее повреждаемых элементов и узлов двигателей, а также качества питания сети или приводов.

Система позволяет провести оперативный анализ значимости дефектов и дать рекомендации на проведение ремонта или замены двигателя. Следует отметить, что оценка технического состояния проводится по ряду параметров установленных в «Нормах испытаний...», которые практически идентичны критериям разработанных институтами EPRI (The Electric Power Research Institute USA) и IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers).

Для электрических аппаратов, выведенных из работы, важнейшими параметрами контроля являются сопротивление изоляции, сопротивление обмоток постоянному току, комплексное сопротивление, индуктивность обмоток, фазовый угол между напряжением и током и параметр отношения токов на основной и удвоенной частоте. Выбор рассмотренных параметров проведен таким образом, что эти параметры не являются строго независимыми. При этом некоторая избыточность в количестве параметров контроля создает новое качество контрольной операции, при которых — не требуется заранее известных (в том числе и паспортных)

данных об объекте контроля.

Следует отметить, что рассмотренные подходы применимы как к трансформаторам, так и электродвигателям, так как электродвигатель является по существу трансформатором с вращающейся вторичной обмоткой, и увеличенным магнитным сопротивлением. При небольших частотах можно принять, что эти параметры являются сосредоточенными, и не рассматривать волновые процессы которые имеют место на частотах значительно превышающих промышленную частоту. Эквивалентная схема контролируемой цепи для одной фазы этих машин и аппаратов, в упрощенном виде (рис. 1), может быть представлена в виде с двух обмоток связанных взаимной магнитной индукцией. Основными параметрами подобных цепей являются активные сопротивления обмоток R1, R2 их индуктивности L1, L2, сопротивление и емкости.

Статистика повреждений электродвигателей, силовых трансформаторов показывает, что наиболее распространены дефекты контактных соединений в местах подсоединения кабельных линий питания Rk, контактных соединений регулятора напряжения, замыкания витков первичной обмотки, ухудшения сопротивления изоляции обмоток Ri. Для асинхронных электродвигателей распространенным дефектом является обрывы или ухудшение пайки элементарных проводников обмотки ротора, вводимые контактные соединения обмотки статора.

Рассмотренные дефекты всегда приводят к изменению активного сопротивления, индуктивности, емкости и полного сопротивления. Вместе с тем вклад этих составляющих в комплексное сопротивление различен и изменяется также с изменением частоты приложенного напряжения. В реактивных цепях всегда наблюдается сдвиг фаз ϕ между током I и приложенным напряжением U. Схематически возникновение различных дефектов (увеличение контактных сопротивлений, замыкание витков изменение сопротивлений изоляции) в цепях первичной и вторичной обмотки приведено на рис. 1.

Рассматриваемая в данной работе система может использоваться при контроле как синхронных и асинхронных двигателей, так и двигателей постоянного тока. Помимо этого, системы данного типа могут применяться и для контроля технического состояния силовых трансформаторов. Отличительной особенностью рассмотренных систем является проведение одним прибором комплекса измерений, автоматическое занесение данных контроля в базу данных, их анализ и прогноз рабочего состояния.

Для эффективной и надежной работы электродвигателя, или трансформатора подводимое к нему питание должно соответствовать определенным требованиям по наличию высокочастотных гармоник, перенапряжений и др. Наличие высокочастотных гармоник в цепи питания приводит к дополнительному нагреву статорной обмотки и преждевременному ее старению. Для этих параметров система определяет по трем фазам несимметрии напряжений и токов в, производит оценку баланса токов и напряжений по фазам и информацию о наличии высокочастотных гармоник электропитания. При отсутствии в питающем напряжении мощных импульсных

parameters, obtained by one system of control, maintenance and repair of electrical machines can, they are produced due to their technical state without planned turning offs, dissection and routine checks.

Materials and methods

Motor Circuit Analyzer ALL-TEST IV PRO

Results

Using ALL-TEST Pro® Greatly Increases the Profitability of Your Plant!

- Versatile — works on all types and sizes of motors-induction, synchronous, servo, DC and more.
- Sensitive — detects faults at their earliest stages, before motor failure. Detects “deep” winding faults.
- Fast — testing only takes a few minutes and will give you a complete picture of motor health.
- Convenient — tests can be taken from the motor control center, through hundreds of feet of cable.
- Easy to use — menu driven with on-screen prompts.
- Expert software provides fault diagnosis plus trending of all data.

Conclusions

Predictive Maintenance

Regular testing can identify developing faults before a failure occurs. All measurement data can be trended for predictive maintenance condition monitoring. By making proactive repairs and eliminating unscheduled downtime, plant productivity is greatly improved.

Keywords

systems of control Electrical motors, diagnostics of electrical motors

References

1. Gashimov M. A, Gadzhiev G. A, Mirzoev S.M. diagnosing of malfunctions of a winding *сmаnоpа electric cars//Power plants*. - 1998. - № 11. - with. 30-35.
2. Garmash V. S. The Quality monitoring of serviceability of cores of a rotor of the short-circuited asynchronous engine// *Power*. - 1990. - № 10. - with. 50-52.
3. V.Spektralnyj's cocks the analysis of modules of vectors of Park of a current and pressure. *News elektrotehniki*. - 2008. - № 1 (49).
4. Lukyanov, M.M. *Novye principles vibro acoustic diagnostics of the worn out power electric equipment / the Electrician*. - № 2, 2001.
5. Yeremeyev, S.N. *preventive maintenance of electric motors of highly loaded process equipment/: the Electrician*. - № 3, 2001.

помех при работе двигателя может быть определены дефекты паек роторной обмотки по гармонике нижней боковой частоты напряжения питания. Уровень гармоник нижней боковой частоты не должен превышать -35 dB от основной частоты питающей сети (рис. 2).

На отключенном двигателе измеряются межфазные и активные сопротивления обмоток постоянному току, индуктивность, импеданс и угловая зависимость тока от частоты напряжения встроенного в прибор генератора питания (рис. 3). Данные параметры необходимы для обнаружения и оценки наиболее опасных дефектов виткового замыкания обмотки статора, ротора, а также эксцентриситет ротора.

Угловая зависимость взаимной индукции обмотки статора с роторной обмоткой определяется при дискретном повороте вала через равные угловые интервалы. Это дает возможность определить межвитковые замыкания статорной обмотки (рис. 3а) или эксцентриситет вала ротора (рис. 3б).

Для определения технического состояния электрических машин, кА к электродвигателям, так и трансформаторов с отключенном состоянии эффективно применение универсального измерительного прибора, разработанный для контроля технического состояния электродвигателей ALL-TEST IV PRO 2000™. Прибор имеет возможность выбора режимов ручного или автоматических измерений. Основные преимущества универсального средства измерений сокращение количества измерительных приборов и увеличение производительности измерений особенно в автоматическом режиме съема данных.

Для трансформаторов могут использоваться численные значения разброса параметров контроля между фазами приведенные ниже.

Небаланс отсчетов по фазам:

1. Сопротивление обмоток постоянному току не более чем 5% для обмоток с сопротивлением выше 0.250 Ом и не более чем 7.5% при сопротивлении обмоток ниже 0.250 Ом.
2. Импеданс < 2% от среднего уровня.
3. Индуктивность < 5% от среднего уровня.
4. Фазовый угол: Не более чем 1 градус между фазами.
5. I/F: Не более чем 2 цифровых значения, кроме того их значения должны находится между 15 и 50.
6. Незначительные отклонения от этих предельных уровней должны быть отмечены для проведения дальнейших контрольных операций и построения временных изменений. (обмотка для, который например, значения I / F и фазовый угол составляют соответственно -48; -48; -46 и: 70 о; 70 о; 69 о, должны быть проверены повторно).
7. Испытания необходимо проводить строго в заданной последовательности подключения к выводам обмоток по фазам с проведением повторных измерений для проверки воспроизводимости.
8. При отсутствии повторяемости необходимо проверить качество заземления и соединений.
9. В заключение проводятся испытания изоляции обмоток.

Общий вид процедуры проведения контрольных операций на трансформаторах на промежуточной стадии их изготовления приведен на рис. 4.

Данные измерений хранятся базе компьютера и дают возможность сопоставлять результаты измерений путем построения трендов основных параметров (рис. 5).

Удобное программное обеспечение системы контроля позволяет оперативно готовить протоколы и отчеты испытаний. Заключение о месте возникновения (обмотка статора или ротора) и виде возникшего дефекта (обрыв ветвей параллельной обмотки статора и стержневой обмотки короткозамкнутого ротора, витковое замыкание, нарушение контактов паяных соединений в обмотках статора и ротора) дается на основании анализа совокупности измерений.

Заложенные в системе возможности измерения угловой зависимости взаимной индукции статорной и роторной обмоток на повышенных зондирующих частотах, позволяют выявлять дефекты паек обмоток трансформаторов и статоров двигателей, стержневой ротора и дефекты механического характера. Технология анализа технического состояния двигателей и трансформаторов по основным повреждающимся узлам представляется технически и экономически целесообразной, так как может быть проведена одним прибором и оператором.

Итоги

Использование прибора ALL-TEST Pro® существенно повышает рентабельность предприятий!

- Универсальность — работает с электрическими двигателями всех типов и размеров: асинхронными, синхронными, серводвигателями, электрическими двигателями постоянного тока.
- Высокая чувствительность — позволяет выявлять неисправности на раннем этапе их возникновения, позволяет выявлять глубоко расположенные дефекты обмотки.
- Быстродействие — операция контроля

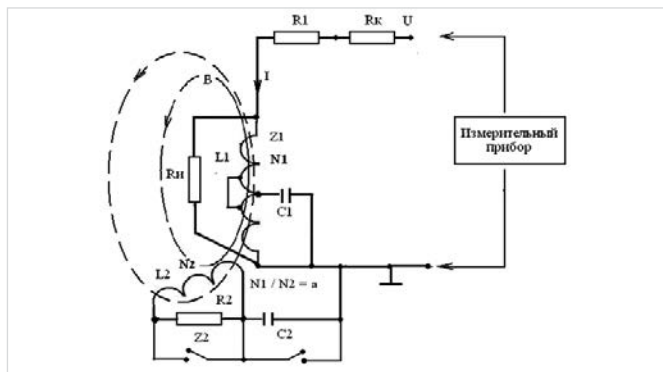


Рис. 1 — Принципиальная схема связанных магнитным потоком обмоток

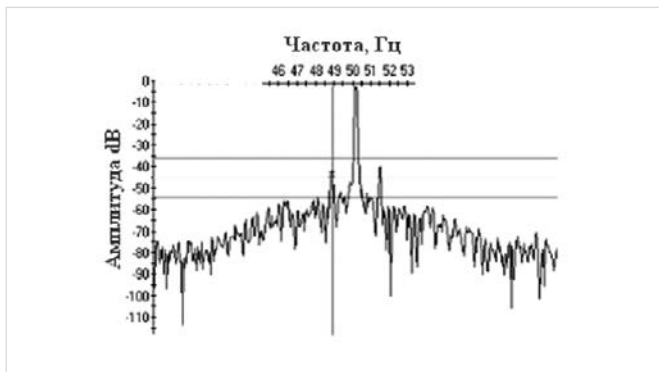


Рис. 2 — Данные гармонического анализа на работающем двигателе с дефектом обмотки ротора

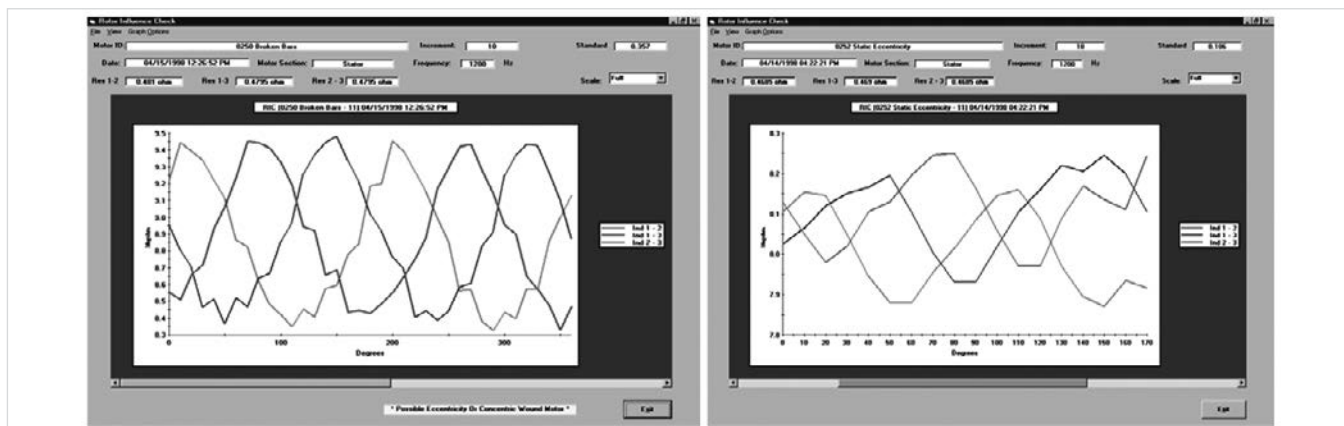


Рис. 3 — Данные гармонического анализа на отключенном двигателе с дефектом обмотки ротора (а), характерная форма индуктивности при эксцентриситете ротора (б)

занимает несколько минут и даёт полную картину состояния электрического двигателя.

- Удобство в работе — контроль может осуществляться со станции управления электрическими двигателями, по кабелю длиной в несколько сотен метров.
- Простота эксплуатации — прибор управляется с помощью меню и экранных диалоговых окон.
- Экспертное программное обеспечение

позволяет устанавливать причины неисправности электрических двигателей и выполнять анализ полученных данных.

Выводы

Применение комплексных систем диагностики электродвигателей позволяет реализовать технологию обслуживания оборудования по фактическому состоянию и снизить издержки от аварийных отказов за счет раннего обнаружения дефектов и

контроля их развития, своевременно планировать ремонт. Возможность удаленного контроля и автоматизации процесса измерений, дает возможность осуществлять систематический контроль значительного парка машин с низкими трудозатратами. Объективные данные о техническом состоянии сокращает число внеплановых остановов из-за преждевременного выхода из строя двигателя и позволяет своевременно планировать его ремонт или замену.



Рис. 4 — Проведение межоперационного контроля обмоток трансформатора на этапе сборки и монтажа прибором ALL-TEST IV PRO

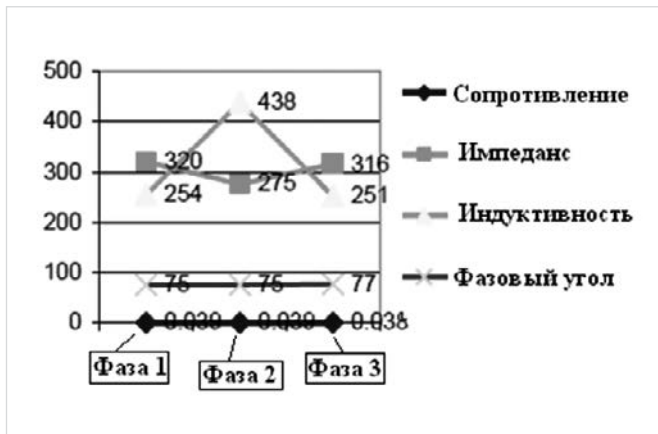


Рис. 5 — Сопоставительный анализ основных контролируемых параметров по трем фазам

Список использованной литературы

1. Гашимов М.А., Гаджиев Г.А., Мирзоева С.М. Диагностирование неисправностей обмотки статора электрических машин // Электрические станции. - 1998. - № 11. - С. 30-35.
2. Гармаш В.С. Метод контроля исправности стерж-

- ней ротора короткозамкнутого асин-хронного двигателя // Энергетика. - 1990. - № 10. - С. 50-52.
3. Петухов В. Спектральный анализ модулей векторов Парка тока и напряжения. Новости электротехники.- 2008. - №1(49).
4. Лукьянов, М.М. Новые принципы виброакустиче-

- ской диагностики изношенного силового электрооборудования / Электрика. - № 2, 2001.
5. Еремеев, С.Н. Профилактическое обслуживание электродвигателей высоконагруженного технологического оборудования /: Электрика. - № 3, 2001.



ОБОРУДОВАНИЕ - НЕФТЬ. ГАЗ. ХИМИЯ. Волгоград
 Дворец Спорта профсоюзов
 12-14 декабря 2012
ВЫСТАВКА
БИОХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ
ЭКО-ПЕРЕРАБОТКА И УТИЛИЗАЦИЯ
ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

15-я специализированная выставка оборудования, материалов, технологий для нефтяной, газовой промышленности, нефтеперерабатывающего комплекса.

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ПАРТНЕР: ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА:

НЕФТЬ ГАЗОВАЯ ВЕРТИКАЛЬ | Нефть. Газ. Новации | Газовая безопасность | IBC NEFT-GAZ | Газпром ПРЕСС | Нефть России | ПРОМЫШЛЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ | 13 ВЫСТАВКА В ГОДУ | 2001 ГОДА

Нефть России | МЭКСПОМаркет | ТЕРРИТОРИЯ НЕФТЕГАЗ | Neftegaz RU | ЭКСПО-УЗИНА НЕФТЬ ГАЗ | ПРОФЕССИОНАЛ

Волгоградский Выставочный Центр "Регион" 400007, Волгоград, а/я 3400
 тел/факс: (8442) 26-61-70, 24-26-02, 26-51-86
 e-mail: ngch@regionex.ru www.regionex.ru