

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ АСУ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТЬЮ МЕГАПОЛИСА С УЧЕТОМ ЭРГОНОМИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ

В.И. Рожков (СПб ГУПТД), А.А. Лахай (ООО «ПетербургГаз»)

Проведение системного анализа деятельности диспетчеров, осуществляющих контроль функционирования АСУ ГРС с использованием информационных моделей, позволило сформировать алгоритмы их деятельности и, используя математический аппарат обобщенного структурного метода А.И. Губинского, получить количественные характеристики оценки качества системы «человек-машина» (СЧМ). В целом применение данного подхода существенно улучшило качество эксплуатации СЧМ и ускорило время выезда аварийной бригады на объект для устранения неисправности.

Ключевые слова: информационные модели, эргономика, газораспределительная сеть, алгоритм деятельности оператора, обобщенный структурный метод, оценки качества системы «человек-машина».

Введение

Появление различных программных платформ и SCADA-систем, позволяющих создавать информационные модели (ИМ)¹ АСУТП, существенно облегчило труд разработчиков программных продуктов. К сожалению, инженеры-программисты не обладают знаниями эргономических требований к ИМ.

Операторам АСУТП при работе с интерфейсами, выполненными без учета эргономических требований, приходится затрачивать больше времени на поиск и обнаружение неисправностей оборудования, выявление отклонений параметров в аварийных или нештатных ситуациях. Это ведет к задержке принятия решений, что неотвратимо сказывается на качестве обслуживания оборудования и может привести к губительным последствиям как для самой АСУТП, так и для окружающей среды. Важность учета человеческого фактора при создании рабочих мест операторов диспетчерских пунктов отмечалась многократно, например [1, 2]. Необходимость выполнения эргономических требований и оценка качества организации рабочего места оператора нашло отражение в ряде государственных стандартов: ГОСТ Р 50948-2001 «Средства отображения информации индивидуального пользования. Общие эргономические требования и требования безопасности»; ГОСТ 27833-88 «Средства отображения информации. Термины и определения»; ГОСТ 21958-76 «Система "человек-машина". Зал и кабины операторов. Взаимное расположение рабочих мест. Общие эргономические требования»; ГОСТ 23000-78 «Система "человек-машина". Пульты управления. Общие эргономические требования» и др.

Рассмотрим в качестве технологического объекта газораспределительную сеть (ГРС)² мегаполиса и ее систему диспетчеризации. Объектом исследования в соответствии с принципами эргономики является деятельность диспетчеров по управлению системами ГРС, а предметом исследования — ИМ технологиче-

ского объекта управления, реализованные посредством SCADA-программы.

Методы проектирования ИМ

В [3] изложен метод проектирования экологического интерфейса, основанный на следующих традиционных видах анализа:

— метод анализа предметной области (Work Domain Analysis, WDA), предназначенный для исследований технологического объекта вне контекста управления этим объектом. Задача метода состоит в функциональной декомпозиции объекта и его описании путем построения иерархической структуры объекта с указанием применяемого оборудования в виде структурной схемы взаимодействия оборудования;

— метод иерархического анализа задач (Hierarchical Task Analysis, HTA), рассматривающий объект как черный ящик и концентрируется на действиях оператора по контролю и управлению. При использовании этого метода производится иерархическая декомпозиция деятельности оператора до уровня простых операций с последующим анализом процесса исполнения этих операций с разных точек зрения: когнитивной сложности, качества интерфейса, дефицита времени и др.

В работе использован обобщенный структурный метод [4], в который входят основные положения методов HTA и WDA и с помощью которого, используя принципы системного подхода, можно построить необходимые для анализа структуры деятельности операторов. Одной из них является функционально-информационная схема, отражающая взаимодействие человека с АСУ ГРС, отображающими работу диспетчера при работе с технологическим оборудованием в процессе функционирования систем ГРП.

Для оценки качества функционирования системы «человек-машина» (СЧМ), к которой относится рассматриваемая система ГРС мегаполиса, предложено применить обобщенный структурный метод (ОСМ)

¹ Информационная модель — модель объекта, представленная в виде информации, описывающей существенные для данного рассмотрения параметры и переменные величины объекта, связи между ними, входы и выходы объекта и позволяющая путем подачи на модель информации об изменении входных величин моделировать возможные состояния объекта (ГОСТ 34.003-90).

² Газораспределительная сеть (ГРС) мегаполиса — это система трубопроводов и оборудования, служащая для транспортировки и распределения газа в городах и населенных пунктах. Газорегуляторный пункт (ГРП) — это комплекс технических средств, состоящий из технологического оборудования, механизмов для регулировки давления газа и системы автоматизации и управления процессом.

функционально-структурной теории, разработанной Губинским А. И., основанный на изучении алгоритмов деятельности человека-оператора и количественной оценке качества его деятельности [4, 5].

Под *алгоритмом деятельности* оператора СЧМ понимается предписание, определяющее содержание и последовательность действий оператора в СЧМ (ГОСТ 26387-84. Система "человек-машина". Термины и определения).

В соответствии с ОСМ ФСТ, надежность деятельности человека в СЧМ определяется надежностью выполнения им функций по управлению техническими средствами и их обслуживанию. При этом надежность деятельности человека обычно представляется в виде структурной и функциональной надежности. Под *структурной* надежностью понимается свойство человека сохранять работоспособность в течение заданного времени в определенных условиях. Функциональная надежность — свойство человека выполнять предписанные функции в соответствии с заданными требованиями в течение определенного периода времени и в тех же условиях. Этот показатель позволяет оценить качество деятельности человека в конкретных СЧМ.

При анализе процесса выполнения человеком своих функций в СЧМ одним из показателей качества деятельности является число безошибочно выполненных операций. Поскольку ошибки обусловлены вариабельностью характеристик человека, этот показатель носит вероятностный характер. При наложении ограничений на число ошибок показатель приобретает надежностный смысл. Составляющую функциональной надежности, характеризующую свойство человека выполнять предписанные функции в соответствии с заданной программой, принято называть *функционально-программной* надежностью.

Так как время выполнения отдельных операций — величина случайная, то другим показателем качества выполнения функций будет быстродействие. При наложении ограничений на время выполнения человеком операций показатель своевременности приобретает надежностные характеристики. Составляющую функциональной надежности, характеризующую свойство человека выполнять предписанные функции в заданные интервалы времени, называют *функционально-временной* надежностью.

Кроме того, показателем качества деятельности человека является точность выполнения им предписанных функций. Составляющую функциональной надежности, характеризующей свойство человека выполнять предписанные функции с заданной точностью, называют *функционально-параметрической* надежностью.

При оценке названных составляющих функциональной надежности будем описывать деятельность человека в СЧМ трехуровневой системой, где нижний уровень представлен операционными единицами, средний уровень — функциональными единицами, а верхний уровень — программными единицами.

Под операционной единицей понимают отдельный психофизиологический акт или комбинацию, до кото-

рой расчленяются действия или деятельность человека. Совокупность операционных единиц, представляющая собой в структуре деятельности человека функционально самостоятельный блок операций, составляет функциональную единицу, а группа или комбинация функциональных единиц, объединенных в законченную программу, составляет программную единицу.

Показателями функционально-программной надежности операционных единиц является вероятность безошибочного (β^1) и ошибочного ($\beta^0=1-\beta^1$) выполнения операций, а показателями функционально-временной надежности операционных единиц — вероятность своевременного выполнения операций, то есть выполнения ее за время t , не превышающее предельно допустимое время τ : $\delta^1(\tau)=P\{t\leq\tau\}$ и вероятность несвоевременного выполнения операций $\delta^0(\tau)=1-\delta^1(\tau)$.

Количественные показатели надежности человека на уровнях функциональных и программных единиц могут быть получены на основании анализа структуры его деятельности. Такой анализ реализуется в следующем порядке:

- декомпозируют деятельность человека на программные, функциональные и операционные единицы;
- определяют экспериментальным путем надежностные показатели операционных единиц (безошибочность и время выполнения операций);
- вычисляют надежностные показатели деятельности на уровне программ через известные характеристики декомпозированных элементов.

При декомпозиции деятельности выделяют основные блоки операций, при невыполнении или ошибочном выполнении хотя бы одного из которых цель не будет достигнута. Затем выделяют вспомогательные функциональные единицы, то есть блоки операций, введение которых в структуру деятельности обусловлено требованием увеличения вероятности безошибочного выполнения операций и необходимости в которых не было бы при идеально надежной работе человека и технических средств.

Основные функциональные единицы деятельности, их характеристики безошибочности и быстродействия, а также формулы, по которым производится расчет количественных значений функциональных блоков, приведены в [4, 5]. К основным функциональным единицам относятся рабочие блоки операций, логические или альтернативные блоки и блоки операций задержки, а к вспомогательным — блоки операций, обеспечивающих диагностический и функциональный контроль [4, 6].

Декомпозиции деятельности на функциональные и операционные единицы должно предшествовать составление алгоритма деятельности (АД) оператора в описательной форме с изложением всех его действий и указанием порядка их выполнения в зависимости от тех или иных условий. Для функционирующей СЧМ такой алгоритм составляется на основании инструкции и руководства по эксплуатации, а для проектируемой — на основе предыдущего опыта про-

ектирования образца или аналога с соответствующими изменениями и дополнениями, связанными с особенностями новой проектируемой СЧМ.

При декомпозиции дробление деятельности выполняется «сверху вниз», то есть начинается с выделения программных единиц, которые впоследствии декомпозируются на функциональные единицы, и, наконец, для определения показателей надежности функционирования единиц каждая из них представляется в виде совокупности операционных единиц.

Переход от словесного описания программы действий оператора или алгоритма его деятельности к формализованной записи заканчивается составлением структуры деятельности на уровне операционных единиц, для которых могут быть заданы количественные характеристики надежности их выполнения. Если деятельность человека в данной СЧМ неясна до уровня операционных единиц, то структура составляется до уровня функциональных единиц в виде совокупности типовых блоков, для которых известны аналитические выражения по определению характеристик функционально-программной и функционально-временной надежности.

По результатам расчетов АД операторов СЧМ с учетом полученных опытным путем количественных характеристик делается вывод о ее соответствии заданным требованиям по надежности человеческого звена.

Под *структурой деятельности* оператора понимается пространственно-временная организация выполнения алгоритма деятельности человека-оператора, включающая две группы процессов. Первая группа — поведенческие информационные и биомеханические преобразования, составляющие суть трудового процесса. Это последовательность выполняемых оператором действий. Вторая группа — процессы, обеспечивающие выполнение этих преобразований (действий) в психическом (мотивы, потребности, установки, характер эмоциональных реакций т.п.), энергетическом (протекание вегетативных процессов) и биохимическом отношениях [7].

Порядок выполнения исследования

В процессе проведения эргономической оценки качества существующих ИМ АСУ ГРС выявлен ряд замечаний, связанных с отступлением от выполнения эргономических требований, указанных в ГОСТах, что привело к ухудшению эргономических характеристик программного продукта. Одной из основных причин низкого качества ИМ является отсутствие технического задания на разработку ИМ АСУ ГРС, в которое должны быть включены и эргономические требования, а также нарушение последовательности выполнения этапов разработки и внедрения системы диспетчеризации АСУ ГРС. В соответствии с ГОСТ 19.102-77 разработка программного продукта должна происходить на завершающем этапе создания системы диспетчеризации с выполнением всех необходимых эргономических требований по созданию ИМ АСУ ГРС. В реальной жизни задача по созданию такой системы возникла тогда, когда было построено и введено в эксплуатацию

большое число объектов. Только после этого была начата разработка программного обеспечения АСУ ГРС. До этого момента контроль и управление ГРП производились в основном вручную или локальными системами контроля и управления отдельных районов мегаполиса. В настоящее время по мере ввода новых ГРП в эксплуатацию производится их подключение к уже существующей системе диспетчеризации.

Для целей исследования были взяты три группы диспетчеров диспетчерского пункта управления ГРС во главе со старшими диспетчерами смен. Опыт работы диспетчеров в группах колеблется от 3 до 8 лет. В обязанности диспетчеров входят осуществление контроля за работой оборудования систем диспетчеризации ГРП. Каждый из диспетчеров имеет АРМ, на котором функционирует ИМ.

Старший диспетчер осуществляет общее руководство сменой. В обязанности старшего диспетчера входит контроль за работой диспетчеров, окончательное принятие решения по оценке состояния аварийного ГРП и устранению отказов оборудования в ГРП, организация подготовки и выдача необходимых заказ-нарядов для аварийных бригад, руководство ими до устранения появившейся неисправности в работе оборудования.

Для проведения хронометража проверяемых АД использовался электронный секундомер. Проверка времени выполнения операций от момента появления сигнала нештатной ситуации до момента выезда аварийной партии для ее устранения проводилась на реальных объектах. Также проводилось изучение регламентирующих документов и инструкций по работе диспетчеров, журналов руководителей дежурных смен (старших диспетчеров) и архивных данных «Текущих тревог» с целью сопоставления полученных данных хронометража с аналогичными ситуациями, произошедшими ранее.

Анализ существующего интерфейса, выполненного в SCADA ICONIKS, показал, что при появлении нештатной ситуации диспетчер не сможет быстро оценить обстановку, состояние оборудования ГРП, причины появления нештатной ситуации, что приводит к увеличению времени принятия решения, несвоевременному вызову аварийной бригады предприятия для устранения нештатной ситуации. Эргономическая оценка существующих ИМ позволила выявить ряд замечаний, критичных для деятельности диспетчеров АСУ ГРС.

1. При работе в существующем интерфейсе диспетчеру требуется затрачивать дополнительное время на поиск аварийного ГРП и использовать дополнительную техническую документацию для оценки состояния его систем и принятия решения.

2. Компьютерная программа имеет многооконный интерфейс, что приводит к необходимости при поиске информации прибегать к выводу на экран монитора дополнительных экранов. Так, при поиске аварийного ГРП диспетчеру приходится перелистывать экраны с перечнем ГРП (до 10 страниц). При загрузке

Таблица. Сравнительная оценка количественных характеристик АД диспетчера по нештатной ситуации «Низкое выходное давление в ГРП» с использованием существующих и новых ИМ АСУ ГРС

Итоговый расчет АД		
Вероятность своевременного и безошибочного выполнения АД, β^1	Время выполнения АД, с	Дисперсия времени выполнения АД, с ²
по существовавшим ранее ИМ		
0,937	846,0	139,5
по новым ИМ		
0,978	586,6	102,5

каждый раз нового экрана затрачиваются дополнительные ресурсы компьютера, что замедляет работу оперативной памяти.

3. Разработка ИМ осуществлялась разработчиками программного обеспечения, имеющими неполное и нечеткое представление о деятельности диспетчеров и особенностях работы обслуживаемого диспетчерами оборудования.

4. Взаимное размещение объектов (пиктограмм) на экране монитора зачастую не совпадает с их логической привязкой к реальным объектам и/или их важностью. Например, могут быть указаны номера ГРП № 4, 6, 7, 14 и т. д., что отражает их принадлежность к конкретному производственно-эксплуатаци-

онному участку (ПЭУ), но не к месту их расположения в районах мегаполиса. Это приводит к тому, что диспетчеру требуется иметь под рукой списки ГРП с привязкой их месторасположения по районам города и к соответствующим ПЭУ.

5. Отсутствует возможность автоматизированной подготовки необходимых документов, в частности, заказ-нарядов для выезда на аварийный объект.

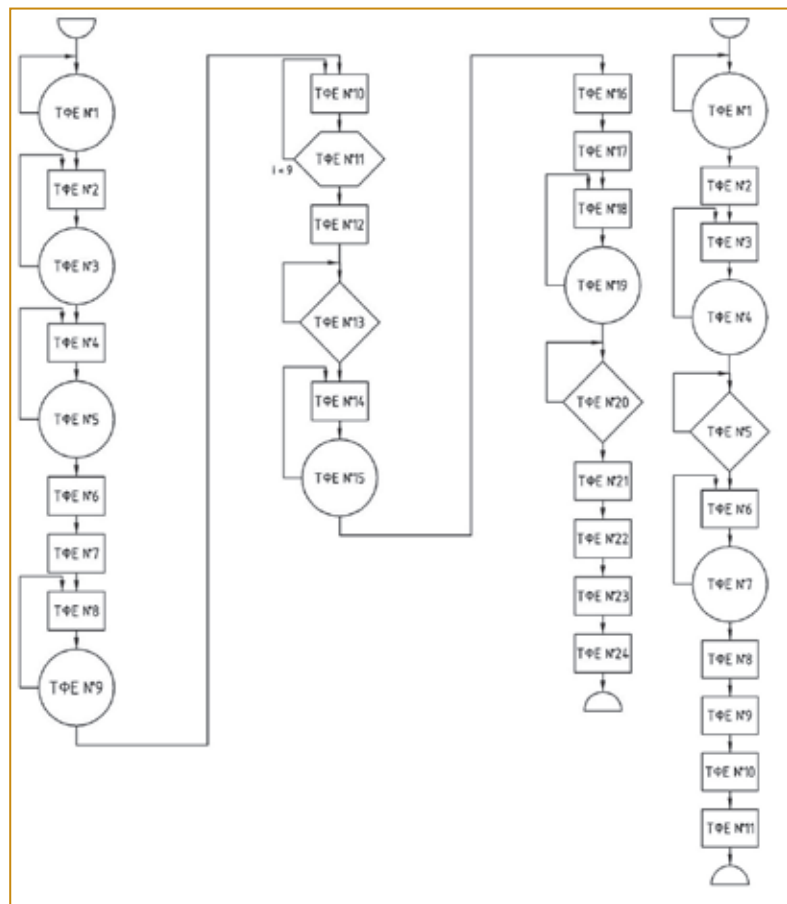
Пример составления алгоритма деятельности (АД) диспетчера по нештатной ситуации в ГРП

Таким образом, применение существующих ИМ АСУ ГРС затрудняет работу диспетчеров по поиску, распознаванию и оценке состояния аварийного объекта, что приводит к неоправданным рискам и затягиванию времени на устранение нештатных ситуаций. Для оценки качества работы диспетчеров ГРС был составлен перечень выполняемых ими функций по поиску и устранению типовых неисправностей по нештатным ситуациям. Всего было рассмотрено семь нештатных ситуаций. Анализ полученного перечня функций показал, что выполняемые диспетчерами алгоритмы деятельности в основном однотипны и отличаются некоторым разбросом временных характеристик.

В качестве примера построения и оценки АД диспетчера ГРС была выбрана одна из нештатных ситуаций «Низкое выходное давление в ГРП». На основе

ОСМ был построен АД с использованием типовых функциональных единиц (ТФЕ) и произведена количественная оценка деятельности диспетчера с использованием полученных опытным путем временных характеристик. Временные характеристики ТФЕ были получены методом хронометража, а величины дисперсий $D(t)$ — в соответствии с методикой расчета дисперсий времени выполнения операций [5, стр. 160].

После разработки новых ИМ с учетом эргономических требований были построены новые АД. Для расчета количественных характеристик АД и последующего их сравнения была взята одна и та же задача по поиску неисправности по сигналу «Низкое выходное давление» (рисунок). На рисунке представлены два алгоритма: А) с использованием существующих ИМ АСУ ГРС и Б) с учетом обновленной ИМ, выполненных с учетом эргономических требований. При их сравнении видно, что структура деятельности диспетчера после введения новых ИМ существенно изменилась, а число необходимых для его реализации ТФЕ сократилось. Окончательные результаты количественных оценок АД по нештатной ситуации «Низкое выходное давление в ГРП» с использованием существующих и новых ИМ приведены в таблице.



А)

Б)

Существующий (А) и новый (Б) алгоритмы деятельности диспетчера по нештатной ситуации «Низкое выходное давление»

По результатам анализа существующих ИМ АСУ ГРС были разработаны новые варианты ИМ с учетом эргономических требований к ним. Так, было предложено применить темный фон экрана с нанесением буквенно-цифрового обозначения получаемой информации белого цвета, а при оформлении пиктограмм применены более мягкие тона цветовой гаммы для обеспечения более комфортного восприятия информации. Особенно это важно при работе диспетчеров в ночное время.

Внесенные изменения позволили не только улучшить качество восприятия отображаемой информации, но и упростить АД диспетчера по устранению нештатных ситуаций, что привело к изменению структуры его деятельности и сократило время выполнения нормативов по поиску нештатных ситуаций на аварийных объектах.

В результате проведенных работ существенно улучшились надежностные и количественные характеристики АД диспетчера по данной нештатной ситуации, а именно:

1. разработанные алгоритмы деятельности обладают лучшими характеристиками по критерию вероятности своевременного и безошибочного их выполнения по сравнению со старыми АД;

2. время выполнения АД при использовании новых ИМ сократилось более чем на 30%, что позволяет диспетчеру сократить время при решении задачи при устранении нештатных ситуаций, уменьшить время на принятие решения, а также ускорить время отправки аварийной бригады к месту расположения ГРП для ликвидации нештатной (аварийной) ситуации;

3. установка программного обеспечения с новыми ИМ привело к изменению структуры АД диспетчеров и сокращению числа выполняемых операций.

Кроме разработки новых ИМ были применены другие инструменты среды разработки SCADA-программы для модернизации интерфейса и сокращения времени выполнения операций. Наиболее значимые приведены ниже.

Вращающийся элемент управления PivotControl, позволяющий объединить несколько экранов как элементы одного объекта размером больше дисплея, который загружается целиком при запуске интерфейса и целиком обрабатывается. *Прокручиваемый список ScrollingList*, позволяющий разместить большой объем информации на одном экране и предоставляет диспетчеру оперативный доступ к данным.

Выводы и рекомендации

В 70–80 годах XX века обобщенный структурный метод А. И. Губинского широко применялся в различных областях техники, вплоть до оценки качества деятельности космонавтов, в которых требовалось получить количественную оценку деятельности чело-

века в сложных СЧМ. Использование данного метода для оценки качества ИМ АСУ через оценку АД операторов открывает новую грань его применения.

В целом внедрение всех рекомендаций по совершенствованию работы диспетчеров АСУ ГРС за счет модернизации ИМ позволило повысить качество деятельности диспетчеров.

В результате выполнения данного исследования получены следующие результаты.

1. Доказана возможность применения ОСМ для оценки качества ИМ АСУ ГРС.

2. Показана возможность применения ОСМ для обоснования нормативов по действиям диспетчеров при выполнении задач по ликвидации нештатных ситуаций за счет построения и количественной оценки их АД.

3. Подтверждена необходимость включения в Техническое задание на разработку АСУ эргономических требований к ИМ в соответствии с ГОСТами.

4. Обоснована целесообразность проведения эргономической экспертизы ИМ существующих АСУ для повышения качества работы диспетчеров.

Отметим, что внесение изменений в сложившуюся организацию деятельности предприятия и в особенности в отработанный годами процесс деятельности диспетчеров, связанных с эргономическими разработками, требует не только привлечения финансовых ресурсов, но и понимания руководителем предприятия важности и необходимости проведения таких работ, направленных не только на сокращение ошибок диспетчеров, но и на улучшение качества их работы, сохранение здоровья и работоспособности.

Список литературы

1. Уляшкин А.В. Учет человеческого фактора при создании диспетчерских пунктов // Автоматизация в промышленности. 2014. № 12. стр.31-34.
2. Краевский Д., Иванов А.И. Ситуационное восприятие. Новый подход к дизайну человеко-машинных интерфейсов // Автоматизация в промышленности. 2014. № 12. стр. 26-30.
3. Анохин А.Н., Алонцева Е.Н., Ивакин А.С. Проектирование экологического интерфейса для операторов сложных технологических систем // Автоматизация в промышленности. 2014. № 12. стр.20-25.
4. Губинский А.И., Евграфов В.Г. Эргономическое проектирование судовых систем управления. - Л.: Судостроение. 1977. 224 с.
5. Шибанов Г.П. Количественная оценка деятельности человека в системах человек-техника. М.: Машиностроение. 1983. 263 с.
6. Адаменко А.Н., Ашерев А.Т., Бердников И.Л. и др. Информационно-управляющие человеко-машинные системы: Исследование, проектирование, испытания: Справочник. Под общ. ред. А.И. Губинского и В.Г. Евграфова. М.: Машиностроение. 1993. - 528 с.
7. Душков Б.А., Королев А.В., Смирнов Б.А. Энциклопедический словарь: Психология труда, управления, инженерная психология и эргономика. 2005.

Рожков Владимир Иванович — канд. техн. наук, доцент кафедры АТПиП Высшей школы технологии и энергетики СПб ГУПТД, **Лахай Алексей Анатольевич** — ведущий инженер отдела сопровождения систем диспетчеризации Управления технического сопровождения информационных технологий ООО «ПетербургГаз». E-mail: ergonika@mail.ru