

О Т З Ы В

официального оппонента Новикова Николая Леонтьевича на диссертационную работу Захарченко Виталия Евгеньевича «Развитие теоретических основ и реализация автоматизированного управления активной мощностью и составом задействованных агрегатов», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)»

Представленная на отзыв работа состоит из введения, пяти глав, выводов, и списка литературы; изложена на 288 страницах основного машинописного текста, содержит 108 рисунков, 36 таблиц, 27 иллюстрирующих примеров, 89 формул и включает список источников из 180 наименований.

Целью работы в формулировке автора является развитие теоретических основ и реализация автоматизированного управления активной мощностью и составом задействованных агрегатов для повышения эффективности функционирования ГЭС с учетом планового задания Системного оператора, критериев эффективности и оценки состояния агрегатов.

Задачи диссертационного исследования (в авторской формулировке):

1. Обоснование методологии исследования и определения эталонного состояния агрегатов на основе разработанной уточненной математической модели гидроагрегата, учитывающей основные статические характеристики (условно постоянные в период эксплуатации между ремонтами) и динамические параметры, зависящие от режима работы, изменяющиеся с течением техпроцесса и описывающие состояние агрегатов, критериев эффективности и оценок состояния.

2. Развитие теоретических положений определения эталонного состояния ГЭС на основе анализа разработанной модели системы ГРАМ ГЭС, усовершенствованной процедуры оптимизации функции распределения мощности системы ГРАМ, моделирования состояния ГЭС с учетом состояния агрегатов и использованием многокритериальной оптимизации.

3. Формализация описания автоматизированной системы рационального управления составом агрегатов на основе уточненных моделей структуры, архитектуры состава и функций агрегатов, взаимосвязи компонентов системы, интерфейса пользователя, возможностей конфигурирования и математического моделирования. Тестовое сравнение разработанных моделей с теоретическими и практическими аналогами.

4. Разработка концепции интегрированного управления агрегатами ГЭС по критериям эффективности и оценки состояния агрегатов, включающей методики и алгоритмы структурной оптимизации состава агрегатов, формирующие рекомендации достижения эталонного состояния ГЭС с учетом функциональных ограничений, разработанную модель системы РУСА, оценку времени реакции РУСА, обобщение результатов апробации модели РУСА на данных реальных ГЭС за продолжительный период времени, оценку длительности актуальности рекомендаций и исследования задержки принятия решения.

5. Разработка методики экономического обоснования и исследование экономической эффективности автоматизированной системы РУСА для ря-

да ГЭС за продолжительный период времени с учетом влияния дискретности данных, задержки принятия решения и длительности актуальности рекомендаций на суммарный эффект.

6. Определение перспективных направлений развития научных исследований в области автоматизированного управления агрегатами ГЭС.

1. Актуальность темы

Задача повышения степени автоматизации управления и оптимизации режима работы состава агрегатов ГЭС сформулирована в стратегических целях развития ПАО «РусГидро» в 2020 году: необходима «...реализация средств автоматического управления, обеспечивающих учёт ограничений режима работы, оптимизацию режима работы оборудования и его состава, интегрированных с системами диспетчерского и технологического управления». Такие системы обозначаются термином РУСА – рациональное управление составом агрегатов. Очевиден масштаб проблемы повышения эффективности и автоматизации управления агрегатами ГЭС. Значимость работы подтверждается проведением конкурсов на технико-экономическое обоснование систем РУСА (2015, 2016 гг.). Развитие теоретических основ и реализация эффективных автоматизированных систем управления агрегатами ГЭС, включающих оптимальное оперативное управление составом агрегатов и распределение активной мощности между агрегатами в перспективе планового задания на ГЭС, представляет актуальную научно-практическую проблему, имеющую важное значение для гидроэнергетики в целом.

2. Оценка содержания работы и степени обоснованности научных положений выводов и рекомендаций

В первой главе “Характеристика АСУТП ГЭС” приведены самые общие сведения о системах управления ГЭС и на основе произведенного обзора литературы сформулирована постановка задачи.

Вторая глава “Моделирование гидроагрегата” посвящена моделированию гидроагрегата: статических (условно постоянных между ремонтами) характеристик гидроагрегатов и динамических параметров, меняющихся с течением технологического процесса в реальном времени и отражающими состояние агрегата (температуры, вибрации, наработки и т.д.).

Третья глава “Моделирование групповых систем управления активной мощностью ГЭС” содержит основные теоретические положения по моделированию групповых систем управления активной мощностью, к которым отнесена и вновь создаваемая система автоматизированного рационального управления составом агрегатов. Сформулирован критерий повышения эффективности КПД ГЭС, описаны особенности методологии моделирования групповых систем регулирования ГЭС, описаны принципы построения системы рационального управления составом агрегатов на основе критерия повышения эффективности ГЭС, затем после описания вариантов многокритериального принятия решения алгоритм обобщается с учетом оценки состояния агрегатов. Приведён алгоритм принятия решений для всех возможных изменений составов агрегатов, таких как пуск, останов, переход через зону ограниченной работы: модель РУСА поочередно имитиру-

ет изменение состояния каждого агрегата и рассчитывает соответствующий потенциальный эффект ГЭС. Если больший потенциальный эффект превышает эффективность ГЭС в настоящий момент времени, формируется рекомендация на изменение состава агрегата, а разница потенциальных эффектов до и после изменения состава определяет минимальный выигрыш от системы РУСА. Проводится апробация моделей на основе данных четырех ГЭС. В завершение главы предложен метод экономического обоснования системы РУСА на основе ранее описанного потенциального эффекта моделей РУСА за исследуемый годовой интервал. .

Четвертая глава “Автоматизированная система РУСА” содержит описание реализацию системы рационального управления составом агрегатов с алгоритмами, мнемосхемами, описанием особенностей и сопутствующих сложностей, внедрение подкреплено актами, вынесенными в приложение к работе.

Пятая глава “Перспективные направления исследований” приведены возможные варианты развития темы исследования.

Заключение

Степень решения поставленных задач и уровень полученных результатов в развитии и реализации автоматизированного управления активной мощностью и составом задействованных агрегатов ГЭС в целях повышения качества управления и эффективности ГЭС свидетельствуют о решении научной проблемы, изложены новые научно обоснованные технические, технологические решения, внедрение которых имеет народнохозяйственное значение.

3. Научная новизна диссертационной работы

Сформирована методология формализованного описания автоматизированной системы рационального управления составом задействованных агрегатов (РУСА) на основе уточненных моделей структуры, архитектуры состава и функций агрегатов, взаимосвязи компонентов системы, учитывающая эталонное состояние агрегатов и ГЭС. Формализованные методы создания моделей системы РУСА ГЭС в отличие от существующих методов учитывают эффект повышения КПД ГЭС, минимизируют на основе функционально-ориентированных моделей технологического процесса риски нештатных ситуаций ГА, облегченно автоматизируются и адаптируются для конкретной ГЭС.

4. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Обоснованность результатов и выводов диссертации обеспечена строгим выполнением математических преобразований, принятием признанных допущений, использованием современных математических моделей и систем программного обеспечения. Достоверность и адекватность результатов и выводов подтверждается согласованностью с опубликованными результатами других авторов, удовлетворительным совпадением результатов аналитических решений с результатами математического моделирования и результатами апробации на реальных данных нескольких ГЭС, внедрением автоматизированной системы РУСА на ГЭС

5. Значимость для науки и производства полученных автором результатов

Соискателем показано, что решение научно-практической проблемы реализации автоматизированного управления ГЭС, включающей оптимальное оперативное управление составом агрегатов и распределением активной мощности между агрегатами в перспективе планового задания на ГЭС с учетом масштаба задач, сложности алгоритмов управления, возможности перехода ГА через зоны ограниченной работы, совместной работы агрегатов с различающимися эксплуатационными характеристиками, неполноты описаний агрегатов, частичной неопределенности в периодичности включений/отключений агрегатов, режимного динамизма, влияния внешней среды, нелинейностей характеристик, критериев надёжности и состояния агрегатов, экономической целесообразности, эффективности составов оборудования, ограничений по отклонениям от заданной мощности, обеспечения резервов регулирования на загрузку и разгрузку активной мощности, равномерного распределения износа ресурсов в установившихся режимах и переходных процессах представляет актуальную задачу, имеющую важное значение для гидроэнергетики. Оптимизация оперативного управления активной мощностью и составом агрегатов ГЭС повышает качество управления ГЭС, каскада ГЭС, создает основу улучшения управления энергосистемой.

Обоснована методология определения эталонного состояния ГА, учитывающая показатель эффективности, основанный на потенциальных потерях выработки ГА от вынужденной работы на неоптимальном КПД по сравнению выработкой на максимальном КПД того же объема воды, и показатели, характеризующие состояние ГА на основе разработанной комплексной функционально-ориентированной модели гидроагрегата, учитывающей основные статические и динамические характеристики. Предложена методика построения модели ГА для оценивания его состояния. Модель основывается на сравнении значений параметров АСУТП ГА с имитированным модельным значением, объединяющим экспертные знания и предысторию функционирования объекта. Имитационная модель, работая в едином времени с системой управления, в каждый момент времени формирует характерные диапазоны изменения параметров. На их основе модель оценивания достоверности формирует признак возможности использования наблюдаемого АСУТП значения в алгоритмах РУСА. Приведены алгоритмы и методики создания моделей, проведена их апробация.

Развиты теоретические положения и определено эталонное состояние ГЭС, основанное на многокритериальной оптимизации по критериям эффективности и оценки состояния агрегатов ГЭС. Сформулирован оригинальный критерий эффективности ГЭС, в основе которого использована сумма потенциальных потерь выработки агрегатов. Созданы модели систем группового регулирования активной мощности ГЭС, предложено изменение функций распределения мощности системы ГРАМ для повышения эффективности ГЭС. Проведена апробация системы ГРАМ с функцией долевого равенства отклонений от максимального КПД ГА.

Предложена методология формализованного описания автоматизированной системы РУСА на основе уточненных моделей структуры, архитектуры состава и функций агрегатов, взаимосвязи компонентов системы.

Формализованные методы создания моделей системы РУСА ГЭС, в отличие от существующих методов, учитывают эффект повышения КПД ГЭС, минимизируют на основе функционально-ориентированных моделей технологического процесса риски нештатных ситуаций ГА, облегченно автоматизируются и адаптируются для конкретной ГЭС.

Разработана концепция интегрированного управления агрегатами ГЭС по критериям эффективности и оценки состояния агрегатов, включающая методики и алгоритмы оптимизации состава агрегатов, сотрудничающая согласовано с системой ГРАМ и способная в режиме реального времени выдавать рекомендации оператору (как совет) или автоматически в систему группового регулирования мощности (как сигналы управления). Рекомендации формируются на основании критериев эффективности ГЭС и оценок текущего состояния ГА. Оценено время реакции РУСА: не требуется формировать рекомендации по изменению состава чаще чем раз в минуту. Проведена апробация модели РУСА на данных четырех реальных ГЭС за значительный период времени. Созданы модели 4 ГЭС с общим числом агрегатов 56 с различными типами эксплуатационных и расходных характеристик. Предложенная методика представляет интервальную оценку от минимального однократного изменения состава агрегатов до максимально достижимого повышения КПД ГЭС. Показано, что модели и методика адекватны реальным системам. Описано влияние задержки принятия решения об изменении состава агрегата на эффективность ГЭС. Предложен адаптивный алгоритм выбора задержки принятия решения.

Разработана методика экономического обоснования и исследования экономической эффективности автоматизированной системы рационального управления составом агрегатов. Поведе́н расчёт для четырёх ГЭС на основе данных реальных АСУТП ГЭС за год. Полученные результаты свидетельствуют, что для ГЭС из 24 агрегатов ежегодный эффект достигает 51 млн. руб., для ГЭС из 8 агрегатов – 62 млн. руб., для ГЭС из 20 агрегатов – 50,6 млн. руб., для ГЭС из 6 агрегатов – 27 млн. руб. Оценки проведены при разной выдержке принятия решения, полученной на основе данных о длительности актуальности рекомендации из моделей РУСА. Отмечено, что при увеличении выдержки принятия решения, экономический эффект от РУСА уменьшается. Кроме достижения экономического эффекта от работы всех агрегатов на максимальном КПД в функции системы РУСА заложена ротация основного оборудования, учет состояния и тенденций изменения параметров гидроагрегатов (температуры, вибрации), эффект от которых в настоящий момент сложно оценить количественно.

Сформулированы основные требования к системам оптимизации состава агрегатов, определена архитектура конкретных систем, разработаны компоненты систем и определена их функциональность, описана схема потоков данных между компонентами. Разработана действующая система автоматизированного рационального управления составом агрегатов, описан интерфейс пользователя, основная мнемосхема системы, параметры системы. Обозначено решение проблемы конкуренции критериев. Проведено сравнение с аналогами. Система имеет реальное внедрение с 2018 г. и позволяет: сформировать меру эффективной работы станции; повысить эффективность использования основного оборудования; равномерно распределить нагрузку среди основного оборудования и число включений и отключений агрегатов за заданный период времени; заблаговременно опреде-

лить риски развития нештатных ситуаций на агрегатах; проводить обучение оперативного персонала на модели; подготовить основание для дальнейшей оптимизации производства (основного и вспомогательного оборудования).

Определены перспективные направления развития научных исследований в области автоматизированного управления ГЭС. Предложенные методики автоматизации, модели и алгоритмы управления могут быть использованы в других отраслях промышленности.

Замечания по диссертационной работе

1. Отсутствует исторический анализ по работе АСУ ТП ГЭС (предметно по подсистемам РУСА и ГРАМ).

В частности:

- нет никаких ссылок на многочисленные работы ученых из Ленгидропроекта, стоящих в начале создания АСУ ТП, в частности, проектирующих подсистему ГРАМ на Красноярской, Воткинской гидростанциях (Блюмштейн Г.И., Миллер Л.А и др.)

- профессор Филиппова Т.А. в середине 70-х годов прошлого века ввела в научный лексикон аббревиатуру РУСА (рациональное управление составом агрегатов), предложила архитектуру построения этой подсистемы и опубликовала по этой теме несколько десятков трудов. В рецензируемой работе есть одна единственная сноска на ее труды.

- то же касается работ Секретарева Ю.А. (в диссертации приводиться единственная, причем датированная 2013 годом, хотя публикации по этой теме были намного раньше и насчитывают также не один десяток).

- отсутствуют работы Жирнова В.Л, посвященные эффективности подсистемы РУСА,

- работы, выполняемые в СибНИИЭ, а именно Бушуева В.В., Чернева В.Т. и др. также не нашли отражения в историческом анализе,

2. В работе отсутствует анализ оптимизационных методов, которые лежат в основе работы подсистемы РУСА. По фразе об алгоритмах формирования «последовательности перехода » из одного состояния в другое (включение-останов), приведенной на стр. 205, и дальнейшему умалчиванию об их использовании создается впечатление, что этих методов вообще нет, либо они применяются в каком-то секвестированном виде. На самом деле, эта проблема является одной из центральных при проектировании РУСА.

3. Способы многокритериального управления, которые использует автор в работе, основанные на экспертном взвешивании целей, для решения задач управления в темпе процесса не подходят, т.к. изменение ситуации на станции должно приводить к постоянному изменению мнений экспертов. При этом не ясно, как можно собирать эти мнения, обрабатывать их на основе теории экспертных оценок и тут же использовать в управлении. Если же эти цели неизменны и стабильны и их можно заранее оценить, то они представляют собой ограничения, а, как известно, управление по выполнению ограничений никогда не приводит к оптимальному решению.

4. Из материала, изложенная в главе 4, следует, что подсистема РУСА эффективно действует только при выполнении плановых заданий. В случае корректировки плана (а это очень часто происходит на ГЭС, выполняющих функции регулирования частоты и мощности и других системных

требований) РУСА работает только в режиме «советчика». Разработанные подсистемы РУСА в 80-х годах прошлого века и введенные в промышленную эксплуатацию на Красноярской и Воткинской ГЭС, эффективно работали и в таких режимах. Опять стоит констатировать, что автор не анализировал прошлые достижения.

5. При выборе состава гидроагрегатов серьезное внимание уделяется учету эксплуатационного состояния гидроагрегатов, которое характеризуется параметрами температурного, вибрационного, электрического состояний, параметрами, характеризующие отклонение уровней воды и масла, давления воздуха на контролируемых узлах блока, а также ряд других. Зачастую эти параметры превосходят по своей важности экономические характеристики т.е. повышение КПД. В работе эта важная проблема управления обходится странным молчанием, хотя о решении этой проблемы существуют многочисленные публикации.

6. В диссертации совершенно не прописана алгоритмическая траектория работы подсистемы РУСА при управлении составом агрегатов, находящихся в режиме СК. Эта достаточно специфическая и непростая задача, связанная с увязкой составов гидроагрегатов, работающих в генераторном режиме ГР и СК, успешно решалась в подсистемах РУСА, внедренных на вышеперечисленных станциях.

7. Создается впечатление, что при разработке подсистем управления активной мощностью ГЭС автор ориентировался только на корректное выполнение требований и ограничений системы более высокого уровня, в частности, СО и не уделял должного внимания учета станционных особенностей. Это делает предлагаемую систему не жизнеспособной.

8. На стр. 15 автор утверждает, что перераспределение мощности между агрегатами без изменения их состава не вызывает изменения энергоресурса на станции. Это утверждение ошибочно, т.к. различие в энергетических характеристиках, а особенно при изменении напора на ГЭС, приводит к изменению гидроресурса при одном и том же составе.

9. Развитие теоретических основ в данной работе, заключается в анализе критериев (в итоге выбраны: КПД + сугубо технические, характеризующие состояние агрегата (температура подшипника, вибрация, запрещенные для работы зоны и тп)), по которым выбирается состав работающего оборудования, и применении этих критериев к выбору (в качестве программного советчика) на Камской ГЭС и еще 3-х других (не нашёл каких). «Развитие теоретических основ» НУЖНО АКЦЕНТИРОВАТЬ, если это действительно так и есть!

10. «Нового класса систем управления, способных в реальном времени автоматически оптимизировать состав агрегатов ГЭС, планировать и выполнять пуск, останов, смену зоны работы агрегатов с учетом состояния агрегатов и их эффективности в перспективе задания по генерации от СО». Не ясно, в чем заключается «НОВИЗНА класса...».

11. В «Методологии и методах исследования» написано, что используется динамическое программирование, но из текста работы это не следует (метод динамического программирования не используется СОВСЕМ!).

12. По поводу «испытательного стенда». Написано, что искусственные искажения характеристик связаны с изменением КПД и углом наклона оси эллипса, но ведь могут быть другие изменения характеристики, например, сдвиги, изменение соотношения осей эллипса и тп. Как в этом случае БУ-

ДУТ РАБОТАТЬ МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ, например, полиномов или сплайнов?

13. Важным качеством аппроксимации характеристик ГА является «работа» этих полиномов, сплайнов за границей аппроксимации, т.к. априори не понятно как поведет себя режим.

14. П. 2.4, стр. 65 – упоминается ф-ла (2), но, по сути, речь идет о формуле (46). Из ф-лы (46) следует, что единица измерения D (потери, эффективность) это МВт, а на дальнейших рисунках единица измерения МВт-с. Что это?

15. Выводы по гл.2. Написано, что в качестве основного метода «моделирования основных характеристик ГА» выбрана аппроксимация полиномами, а в качестве альтернативных – сплайн и комбинационный метод с использованием радиально базисных нейронных сетей. Вопрос: КОГДА НУЖНО ИСПОЛЬЗОВАТЬ АЛЬТЕРНАТИВУ И КТО ЭТО РЕШАЕТ?

16. То, что при выборе состава работающих агрегатов ГЭС не учитывается изменение напора, это не «перспективное направление работы», а острая необходимость. Тем более что ГЭС часто работают в составе каскада ГЭС и мощность планируется на 2-е суток вперед. В противном, случае нужно говорить о том, что эта работа ориентирована на ГЭС длительного регулирования с большими водохранилищами, мало участвующими в покрытии пиков электропотребления. При учёте же изменения напора в процессе выбора состава оборудования можно было бы действительно говорить о ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ОСНОВЕ работы.

17. Необходимо сравнить аппроксимацию характеристики ГА (п.2.2.3.3) не только сплайном и комбинированным методом, но и с аппроксимацией полиномом разной степени. Слабые и сильные стороны всех 3-х методов, а не только первых двух.

18. Формула (18) – необходимо уточнить коэффициенты. Чему равно x_k ?

19. Желательно побольше примеров практического применения разработанного комплекса РУСА на ГЭС и каких кроме Камской ГЭС.

20. Публикации по теме работы, призванные раскрыть все особенности, отражают лишь основную смысловую часть и не покрывают всей работы.

21. Недостаточно описаны теоретические положения, подвергнутые усовершенствованиям.

22. В работе нет жесткой аргументации выбранных методов решения задачи рационального состава агрегатов.

23. Работа не учитывает индивидуальных особенностей ГЭС, таких как схемы выдачи мощности, работы с единым вспомогательным оборудованием, неисправность которого или работы на которых могут оказать существенное влияние на выбор рационального состава агрегатов.

24. Представленный экономический расчет не содержит трудозатрат на разработку, внедрение системы, а также не учитывает время, необходимое для выбора весов критериев, задаваемых экспертным путем. Необходимое время может существенно сократить предполагаемый эффект.

25. Многокритериальный подход основан на задании экспертами весов для критериев, при этом выбор экспертов и приведение их субъективных оценок к единому значению не описаны ни в рамках одной ГЭС, ни в рамках нескольких ГЭС.

26. Работа не описывает необходимых организационных мер для поддержания эксплуатационных и расходных характеристик в актуальном состоянии.

27. Не описана интеграция работы в экосистему цифровизации ГЭС: каким образом учитываются плановые ремонты и ремонты по состоянию, какой вклад вносит в систему в задачу цифровой трансформации ГЭС.

28. Не смотря на апробацию методик на 4 ГЭС, реальное внедрение выполнено на одной ГЭС, что может быть недостаточным для заключения о серьезности вклада в развитие гидроэнергетики страны.

29. В тексте работы не изложены:

- обоснование методологии исследования ;
- теоретические положения определения эталонного состояния ГЭС на основе анализа разработанной модели системы ГРАМ ГЭС;
- концепция интегрированного управления агрегатами ГЭС по критериям эффективности и оценки состояния агрегатов,

30. Стр.22-23 ДОСЛОВНО переписаны из монографии. Секретарёва без ссылки.

6. Подтверждение опубликования основных результатов диссертации в научной печати

Материалы диссертации опубликованы в 35 печатных изданиях, среди которых 13 статей в ведущих рецензируемых научных журналах, 11 из них рекомендованы ВАК по специальности, 5 публикаций, индексированных в международных базах цитирования Scopus и WoS, 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ, 9 учебных пособий. По результатам исследований опубликована 1 монография.

Автореферат диссертации отражает основные положения диссертационной работы.

Заключение по работе

В целом диссертационная работа удовлетворяет 9–14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г. в редакции от 20.03.2021 г. №426, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук. Проведенное исследование содержит новые научно обоснованные технические и технологические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие энергетики страны. Диссертация Захарченко Виталия Евгеньевича по теме «РАЗВИТИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ И РЕАЛИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ АКТИВНОЙ МОЩНОСТЬЮ И СОСТАВОМ ЗАДЕЙСТВОВАННЫХ АГРЕГАТОВ ГЭС» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной использованием компьютерного моделирования, и экспериментальных алгоритмов, и реализующие автоматизированное управление активной мощностью и составом агрегатов ГЭС. Соискатель Захарченко Виталий Ев-

геневич заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)».

Официальный оппонент
доктор технических наук, профессор, ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС», заместитель научного руководителя **Новиков Николай Леонтьевич**

Россия, 115201, Москва, Каширское ш., д. 22/3
тел. +7(495) 7271909 (доб.1248)
моб+7 9104691763
факс: 8(495) 7271908
e-mail: novikov_nl@ntc-power.ru,
www.ntc-power.ru



06.10.2021