

ОТЧЕТ

о работе круглого стола – «Неразрушающий контроль в космической отрасли и оборонно-промышленном комплексе» (форум «Территория NDT-2018» 28 февраля 2018г.)

В рамках Деловой программы форума «Территория NDT-2018» 28 февраля 2018г. проведено заседание круглого стола по теме «Неразрушающий контроль в космической отрасли и оборонно-промышленном комплексе». Заседание проходило в двух частях.

В работе круглого стола приняли участие более 60 специалистов. Было запланировано 20 докладов, вошедших в программу заседания круглого стола, заслушано и обсуждено 16 докладов ученых и специалистов из Москвы, Московской области, Санкт-Петербурга, Новосибирска, Омска и Пензы.



В докладах заседания круглого стола рассматривались перспективы развития приоритетных отраслей оборонно-промышленного комплекса и проблемные вопросы неразрушающего контроля при разработке, освоении и внедрении новых материалов и технологий в производство современных изделий РКТ в космической отрасли.

В ходе заседания круглого стола рассматривались следующие вопросы:

- 1) неразрушающий контроль конструкций и изделий, созданных по новым технологиям (сварка трением с перемешиванием, аддитивные технологии);
- 2) неразрушающий контроль качества изделий и конструкций из композиционных материалов: состояние и перспективы развития;

- 3) развитие и новые возможности методов и средств неразрушающего контроля механических свойств материалов;
- 4) актуальные вопросы контроля твердости материалов, функциональных покрытий и тонких пленок.

Ведущий круглого стола:

– А.В. Федоров, д.т.н., Директор Учреждения науки ИКЦ СЭКТ, зав. кафедрой Технологий Интроскопии Университета ИТМО.

Модераторы круглого стола:

– А.В. Федоров, д.т.н., Директор Учреждения науки ИКЦ СЭКТ, зав. кафедрой

Технологий Интроскопии Университета ИТМО;

– А.Э. Дворецкий, к.ф.-м.н., зам. Генерального директора ОАО «Композит» ГК Роскосмос;

– В.Г. Шипша, к.т.н., советник Директора НИЦ технологий контроля качества РКТ Университета ИТМО.

Заседание вступительным словом от головной организации ГК Роскосмос по материаловедению ОАО «Композит» открыл к.ф.-м.н. А.Э. Дворецкий. Он отметил важность проведения заседания круглого стола для обмена мнениями и опытом между разработчиками и потребителями по актуальным вопросам неразрушающего контроля в космической отрасли, а также обратил внимание на важность применения методов НК при анализе конструкций, выполненных из композиционных материалов.



По первому вопросу были заслушаны следующие доклады:

1. *«Комплексный подход к обеспечению качества изготовления сварных соединений, выполненных сваркой трением с перемешиванием, с учетом взаимосвязи технологических и контрольно-аналитических параметров»*

(авторы: Быченко В.А., к.т.н., ведущий научный сотрудник Университета ИТМО, заместитель Директора по НИОКР ООО «НТЦ «Эталон», Кинжагулов И.Ю., к.т.н., доцент кафедры Технологий Интроскопии Университета ИТМО, Беркутов И.В., аспирант Университета ИТМО, руководитель центра – начальник отдела Учреждения науки ИКЦ СЭКТ).



В докладе к.т.н. Быченко Владимиром Анатольевичем были описаны преимущества применения сварки трением с перемешиванием в космической отрасли и особенности осуществления НК качества таких сварных соединений. В ходе проведенных исследований была обоснована задача контроля не только возникающих дефектов, но и технологических параметров процесса сварки. Описана разработанная система, позволяющая контролировать технологические параметры сварки (толщина свариваемых кромок, зазор между свариваемыми кромками и подкладной линейкой) при помощи электромагнитно-акустического и магнитно-индукционного преобразователей. Представлено сравнение результатов проведенного контроля штатными средствами и разработанной системой.

2. «Разработка технологии сварки трением с перемешиванием и технологий НК качества тонкостенных сварных оболочек на примере баков УРМ семейства «Ангара» (авторы: Прохорович В.Е., д.т.н., профессор, президент РОНКТД, Директор НИЦ ТКК РКТ Университета ИТМО, Половцев В.А., к.т.н., Александров Н.Г., Главный конструктор ОАО «Композит», Быченко В.А., к.т.н., ведущий научный сотрудник Университета ИТМО, заместитель Директора по НИОКР ООО «НТЦ «Эталон», Шипша В.Г., к.т.н., доцент, руководитель центра технологий НК ООО «НТЦ «Эталон»).

В докладе д.т.н., профессор Прохорович Владимир Евгеньевич проанализировал состояние вопроса по контролю качества сварных соединений, получаемых сваркой трением с перемешиванием (СТП) и обобщил имеющийся опыт в данной области. Особое внимание было уделено

технологии выполнения таких соединений. В частности, были рассмотрены: основные типы сварных швов, типичные дефекты, возникающие в процессе сварки, а также разработанные и прошедшие опытную отработку технологии НК таких сварных швов при производстве баков УРМ семейства «Ангара». Докладчик отметил, что в ООО «НТЦ «Эталон» создана серьезная научно-методическая и технологическая база по данному направлению. Описаны преобразователи, оснастка и методики (технологии) для проведения комплексного ультразвукового и вихретокового контроля качества сварных швов, выполненных СТП, разработанные в ООО «НТЦ «Эталон».



В настоящее время в ряде организаций (ЦСКБ «Прогресс», ОмГТУ, ЦНИИ КМ «Прометей» и др.) активно проводятся работы по практическому освоению СТП и контролю качества сварных швов. В связи с этим объективно встает вопрос о необходимости организации «площадки» (например, отдельной секции в рамках проводимых конференций), на которой специалисты в этой области имели бы возможности обсуждения проблем, обмена мнениями и решения принципиальных вопросов НК качества технологий с варки и качества сварных швов, получаемых СТП.

3. *«Опыт проведения вибрационной диагностики оборудования на предприятиях РКП: Вибродиагностика как альтернатива ППР»* (автор: Савинов Ю.И., к.т.н., начальник отделения НПО Техномаш).



С докладом выступил Савинов Юрий Иванович, к.т.н., начальник отделения НПО Техномаш. В докладе рассматривался метод безразборной вибрационной диагностики: основные параметры (дефекты сборки), определяемые методом; преимущества рассматриваемого метода в сравнении с традиционными методами анализа состояния сборки; представлены примеры применения описанного метода диагностики на реальных объектах. Проведенное вибродиагностическое обследование позволило уменьшить затраты на обслуживание станков и сэкономить на покупке заранее приобретаемых комплектующих, а также значительно сократить время вывода оборудования из эксплуатации.

4. *«Актуальные вопросы контроля качества деталей, полученных по аддитивным технологиям»* (авторы: Семерич А.С., главный металлург – начальник отдела 129 «КБХМ им. А.М. Исаева» – филиала ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева, Быченков В.А., к.т.н., ведущий научный сотрудник Университета ИТМО, заместитель Директора по НИОКР ООО «НТЦ «Эталон», Кинжагулов И.Ю., к.т.н., доцент кафедры Технологий Интроскопии Университета ИТМО, Беркутов И.В., аспирант Университета ИТМО, руководитель центра – начальник отдела Учреждения науки ИКЦ СЭКТ).



В докладе главный металлург «КБХМ им. А.М. Исаева» – филиала ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева Семерич Александр Сергеевич осветил опыт применения аддитивных технологий (селективное лазерное сплавление) и актуальные вопросы НК качества таких изделий. В презентации представлены результаты испытаний отдельных деталей и изделий, изготовленных при помощи аддитивных технологий. Для контроля качества таких изделий предлагается развивать такие методы НК, как динамическое индентирование, компьютерная томография (как измерительное средство), ультразвуковая томография. Также отмечена необходимость прогнозирования накопления и развития микроповреждений в материале при эксплуатации.

5. *«Способ обработки акустико-эмиссионных сигналов, зарегистрированных при прочностных испытаниях материалов, выполненных по технологиям СЛС»* (авторы: Степанова К.А., аспирант Университета ИТМО, старший научный сотрудник ООО «НТЦ «Эталон», Кинжагулов И.Ю., к.т.н., доцент кафедры Технологий Интроскопии Университета ИТМО, Семерич А.С., главный металлург – начальник отдела 129 «КБХМ им. А.М. Исаева» – филиала ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева»).



С докладом выступила аспирант Университета ИТМО Степанова Ксения Андреевна. В докладе отмечены основные особенности изделий, выполненных по технологиям СЛС (дефекты структуры, пористость, механизмы зарождения и развития микроразрушений), влияющие на их прочностные свойства и обуславливающие наибольшую вероятность появления дефектов (трещин) в процессе эксплуатации. Данные особенности требуют разработки новой модели прогнозирования остаточного ресурса, которая может быть построена при помощи метода акустической эмиссии. Описаны результаты проведенных прочностных испытаний и акустико-эмиссионных исследований образцов, выполненных по технологиям СЛС.

По второму вопросу были рассмотрены следующие доклады:

1. *«Состояние и актуальные вопросы разработки технологий неразрушающего контроля заготовок и деталей из объемно-армированных композиционных материалов нового поколения»* (авторы: Дворецкий А.Э., к.ф.-м.н., заместитель Генерального директора ОАО «Композит», Вагин В.П., к.ф.-м.н., начальник отдела по исследованию свойств неметаллических материалов ОАО «Композит», Магнитский И.В., Пономарев К.А., Тащилов С.В., Шарипов Р.Г.).



С докладом выступил заместитель Генерального директора ОАО «Композит» к.ф.-м.н. Дворецкий Александр Эргардович. В докладе были рассмотрены новые технологии формирования армирующих структур КМ, описаны результаты испытаний ПКМ на основе связующих нового поколения для элементов конструкции РН, РБ и КА. Особое внимание уделено основным направлениям неразрушающего контроля объемно-армированных КМ и изделий из них. Были рассмотрены ограничения существующих методов НК и перечислены актуальные задачи по дальнейшему развитию методов НК в изделиях из КМ. Предложено дальнейшее развитие методов контроля качества заготовок и конструкций из КМ с использованием акустического зондирования, методов активной термографии и методов ЛУЗД для контроля качества и толщины покрытий на тонкостенных конструкциях. Отмечена важность разработки методов микротомографии для исследования УУКМ и УККМ на уровне представительного объема, а также методов НК для определения характеристик компонентов КМ (матрицы и армирующих элементов), которые необходимы для верификации численных методов прочностных расчетов и контроля их в процессе производства.

Опыт разработки и внедрении НК качества изделий из КМ убедительно показывает объективную необходимость интегрирования этих вопросов в процесс создания КМ на ранних этапах. В этой связи целесообразно при формировании НИР и ОКР включать в ТЗ вопросы НК качества изделий.

В заключение докладчик отметил значимую роль регулярно проводимой под эгидой РОНКТД научно-технической конференции НК КМ «Приборы и методы НК качества изделий и конструкций из композиционных и неоднородных материалов» в решении выше указанных вопросов и предложил расширить тематику конференции с привлечением ведущих организаций и специалистов.

2. *«Контроль механических свойств полимерных композиционных материалов в деталях и конструкциях неразрушающими методами»* (автор: Мурашов В.В., д.т.н., главный научный сотрудник ФГУП «ВИАМ»).



С докладом выступил Мурашов Виктор Васильевич, д.т.н., главный научный сотрудник ФГУП «ВИАМ». Он описал основные типы и особенности полимерных композиционных материалов, а также влияние данных особенностей на проведение их НК. Были выдвинуты предложения по проведению УЗК для оценки таких характеристик, как степень накопления микрповреждений в ПКМ и диагностика материала детали. Методы, описанные в докладе, могут быть адаптированы для проведения НК УУКМ и УККМ.

3. *«Перспективный метод неразрушающего контроля качества изделий из ПКМ в РКТ»* (автор: Мильяченко А.А., начальник лаборатории ФГУП «НПО Техномаш»).



Доклад Мильяченко Александра Александровича, начальника лаборатории ФГУП «НПО Техномаш», был посвящен такому методу НК как шерография. Докладчик привел примеры применения данного метода в мировой промышленности и при обнаружении конкретных дефектов композиционных материалов (углепластиковых панелей). В заключении было отмечено, что данный метод является мало изученным и не обеспечен

полноценным набором нормативной документации; в связи с этим рекомендуется проведение дальнейших исследований для заполнения пробелов в области применения шерографии.

По третьему вопросу были рассмотрены следующие доклады:

1. *«Методы диагностики и неразрушающего контроля работоспособности объектов на основе перспективных пьезоэлектрических материалов»* (авторы: Николаев А.В., Генеральный директор АО НИИФИ, Блинов А.В., к.т.н., член-корреспондент Российской инженерной академии, помощник Генерального директора по научной работе АО НИИФИ, Волохов И.В., заместитель главного технолога АО НИИФИ, Жуков С.Н.).



С докладом выступил Жуков Сергей Николаевич. В рамках выступления было доложено об АО «НИИФИ» как о разработчиках интеллектуальных систем мониторинга и НК сложных объектов ракетно-космической отрасли для обеспечения надежности, безопасности и предотвращения последствий в ходе их создания и эксплуатации. В докладе был представлен структурный мониторинг работоспособности (СМР) как часть неразрушающей оценки надежности. Рассмотрены основные компоненты СМР, его алгоритм, структурные нагрузки, дефекты, определяемые СМР и параметры зависимости точности и надежности таких систем. Рассмотрены пьезоматериалы для СМР и продемонстрировано производственное оборудование АО «НИИФИ», составляющее единый технологический цикл изготовления пьезоэлементов, пьезопленок,

пьезоволокон. В завершении доклада были озвучены предложения по дальнейшей работе в области СМР:

1. Считать СМР отдельным новым направлением НК, диагностирования состояния, оценки и прогнозирования остаточного ресурса технических объектов.
2. Рекомендовать РОНКТД и АО «НИИФИ» разработать концепцию СМР.
3. Рекомендовать РОНКТД рассмотреть возможность и необходимость выпуска стандарта РФ по СМР.
4. Рекомендовать РОНКТД обратиться в Минпромторг России с предложением о включении в Государственную программу РФ «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности на 2016-2020 годы» работ по п.2 и 3 на период 2018-2025 гг..
5. Рекомендовать РОНКТД обратиться в Минобрнауки России о включении в ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020годы» мероприятий по активизации исследований в области СМР и по подготовке кадров в области «интеллектуальных» структурных систем в период 2018-2025 гг.

2. *«Сварка и контроль титановых сплавов»* (авторы: Куденцов В.Ю, д.т.н., профессор кафедры «Авиа-и ракетостроение» ОмГТУ, Попов А.Ю., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой "Металлорежущие станки и инструменты" ОмГТУ).



Доклад д.т.н., профессора кафедры «Авиа-и ракетостроение» ОмГТУ, Куденцова Владимира Юрьевича был посвящен вопросу исследованию качества швов, полученных при помощи сварки трением с перемешиванием на примере изготовленных образцов из сплава ОТ-4. Презентован фрезерный обрабатываемый центр с его техническими характеристиками для проведения исследований по свариваемости. Была представлена информация по ряду

экспериментов по свариваемости различных материалов и по повышению прочности швов. Для проведения контроля сварных, паянных соединений, для обнаружения несплошностей в металле предложен метод вибродиагностики и для данного метода ОмГТУ ведет работу по разработке методики оценки размеров и определения местоположения дефекта по полученному сигналу. В заключении были изложены следующие рекомендации:

1. Поддержать исследование технологии процесса сварки трением с перемешиванием сплавов с одинаковыми и различными механическими свойствами, в том числе и жаропрочных, технологической оснастки данного процесса.

2. Поддержать разработку методического обеспечения контроля процесса сварки трением с перемешиванием.

3. Поддержать исследования по созданию и проведению диагностического контроля новых металлокомпозитных и резинокордных материалов.

3. *«Результаты измерения остаточных напряжений в сварных соединениях толстостенных конструкций с использованием ультразвуковых методов»* (авторы: Беркутов И.В., аспирант Университета ИТМО, руководитель центра-начальник отдела Учреждения науки ИКЦ СЭКТ, Прохорович В.Е., д.т.н., профессор, Президент РОНКТД, Директор НИЦ ТКК РКТ Университета ИТМО, Федоров А.В., д.т.н., заведующий кафедрой технологий интроскопии Университета ИТМО, Директор Учреждения науки ИКЦ СЭКТ, Быченко В.А., к.т.н., ведущий научный сотрудник Университета ИТМО, заместитель Директора по НИОКР Учреждения науки ИКЦ СЭКТ).



В докладе аспирант Университета ИТМО, руководитель центра-начальник отдела Учреждения науки ИКЦ СЭКТ Беркутов И.В. представил результаты измерения остаточных напряжений в сварных соединениях

толстостенных конструкций с использованием ультразвуковых методов. Докладчик представил методы и средства измерения механических напряжений, основанные на явлении акустоупругости, позволяющие выполнять контроль как в поверхностном слое материалов, так и интегрально по толщине. Продемонстрированы полученные регрессионные зависимости для контроля двухосного напряженно-деформированного состояния и результаты контроля остаточных напряжений в околошовной зоне реальных конструкций. При этом сформулированы проблемы и задачи исследований по разработке, метрологическому обеспечению, актуализации нормативного обеспечения и практическому применению востребованных средств измерений механических напряжений.

4. *«Цифровая радиография: технологии, оборудование и стандарты»*
(автор: Багаев К.А., ведущий инженер ФГУП НПО «Техномаш»).



В докладе ведущий инженер ФГУП НПО «Техномаш» Багаев К.А. представил виды радиографии. Более подробно в докладе представлена прямая радиография как наиболее динамично развивающееся направление. Рассмотрены преимущества и ограничения прямой радиографии и необходимое оборудование. Также поднята проблема отсутствия стандартов по данному направлению в РФ. Во второй части доклада представлены основные характеристики детекторов и продемонстрированы примеры снимков с использованием систем прямой радиографии.

5. *«Оценка физико-механических свойств защитных покрытий на интерметаллидном титановом сплаве ВИТ1»* (автор: Иванова А.Ю., инженер-технолог 3й категории филиал НИИД АО «НПЦ газотурбостроения «Салют»).



Доклад инженера-технолога АО «НПЦ газотурбостроения «Салют» Ивановой А.Ю. был посвящен изучению повышения долговечности лопаток турбины и компрессора из интерметаллидных титановых сплавов путём применения жаростойких защитных покрытий и оценка их свойств. Рассмотрена структура и состав покрытия ВСДП-11Н и покрытия ВСДП-11Н+СДП-2 на интерметаллидном титановом сплаве ВИТ1 и сплаве ВТ-41. Продемонстрированы результаты испытаний на жаростойкость сплавов с покрытием ВСДП-11Н и с покрытием ВСДП-11Н+СДП-2. Продемонстрированы остаточные напряжения в покрытиях на сплаве ВИТ1 и установлен линейный характер влияния температуры на трещиностойкость покрытия ВСДП-11Н+СДП-2 на интерметаллидном титановом сплаве ВИТ1.

По четвертому вопросу были рассмотрены следующие доклады:

1. *«К вопросу обеспечения достоверности измерений твердости металлов портативными динамическими и ультразвуковыми твердомерами»* (автор: Сясько В.А., д.т.н., профессор кафедры «Приборостроение» Санкт-Петербургского Горного Университета).



В докладе д.т.н., Профессора кафедры «Приборостроение» Санкт-Петербургского Горного Университета Сясько В.А. рассмотрена схема методов измерения твердости, структура ГОСТов, действующих в РФ в области измерений твердости, структура стандартов ISO в области измерений твердости. Рассмотрены вопросы пересчета показаний динамических твердомеров в «привычные» шкалы твердости и продемонстрированы портативные статические твердомеры. Сформулированы задачи о необходимости разработки стандартов измерения твердости по Либу и UCI, об унификации конструкций и рабочих параметров приборов, о разработке и изготовлении мер по шкалам твердости, и стандартизации таблиц пересчета твердости рассматриваемых методов в значения других общепринятых шкал твердости. Также в докладе отмечена необходимость разработки совместного применения динамических, ультразвуковых и статических методов, реализующих их портативных преобразователей для обеспечения достоверности и сходимости результатов измерения.

2. *«Методические аспекты комплексного использования статических и динамических преобразователей для экспресс-контроля твердости металлов»* (автор: Уманский А.С., аспирант Санкт-Петербургского Горного Университета, ведущий специалист ООО «КОНСТАНТА»).



С докладом выступил аспирант Санкт-Петербургского Горного Университета, ведущий специалист ООО «КОНСТАНТА» Уманский А.С. Рассмотрены особенности измерения твердости динамическими методами, ультразвуковым метод. Продемонстрированы результаты измерений на натуральных образцах и отмечены ограничения использования данных методов. Представлен разработанный статический твердомер и методические особенности комплексного измерения твердости металлов. И в заключении доклада были представлены в табличном виде рекомендации по выбору преобразователей для комплексного экспресс контроля твердости металлов.

3. *«Оценка пористости в углепластике ультразвуковым эхо-импульсным методом»* (автор: Диков И.А., ведущий инженер ФГУП «ВИАМ»).



В докладе ведущий инженер ФГУП «ВИАМ» Диков И.А. продемонстрировал образцы, использованные в исследовании пористости. В

ходе исследования для определения величины объемной доли пор в образцах был применен метод рентгеновской томографии. Для построения корреляционных зависимостей, в докладе были выделены и описаны информативные параметры: скорость ультразвуковых колебаний в материале образца, центральная частота спектра донного сигнала, затухание ультразвуковых колебаний в материале образца, амплитуда донного эхосигнала. Далее были продемонстрированы корреляционные зависимости между величиной объемной доли пор и падением амплитуды донного эхосигнала. По итогам работы, в качестве развития данного направления, предлагается рассмотреть возможность построения корреляционных кривых между информативным параметром, полученным в процессе ультразвукового контроля и значением прочности. По итогам исследования были разработаны технологические рекомендации по определению пористости в процессе автоматизированного ультразвукового контроля в деталях, полученных автоклавным формованием и инфузией соответственно.

По итогам работы круглого стола «Неразрушающий контроль в космической отрасли и оборонно-промышленном комплексе» составлены рекомендации:

1. Предложить руководству РОНКТД подготовить обращение в ГК «Роскосмос» и Минпромторг России, содержащее краткое изложение обсужденных на форуме проблем разработки современных технологий НК и предложить учитывать при планировании технологических НИР и ОКР по тематике космической отрасли и ОПК постановку следующих задач:

- при разработке новых материалов и образцов техники разрабатывать технологии НК их качества;

- планировать создание цифровых систем неразрушающего контроля качества, как подсистем, интегрированных в единые системы цифрового производства.

2. Программному комитету научно-технической конференции НК КМ «Приборы и методы НК качества изделий и конструкций из композиционных и неоднородных материалов» расширить тематику конференции с привлечением ведущих организаций и специалистов, в частности организации секции

"НК качества сварных соединений, получаемых сваркой трением с перемешиванием".

3. Предложить руководству РОНКТД и ГКНПЦ им. М.В.Хруничева провести межотраслевое совещание по распространению опыта разработки комплексной системы НК сварки трением с перемешиванием на примере опытного ее внедрения в филиале ГКНПЦ им. М.В. Хруничева ПО «Полет».

4. Рекомендовать руководству РОНКТД и АО НИИФИ обратиться в Минпромторг России с предложениями по внедрению технологий разработки и изготовления датчиков и преобразователей, полученных АО НИИФИ по результатам выполнения ОКР "Преображение", ОКР "Кусто" и формирования единого центра компетенций по специализации "Датчико-преобразующая аппаратура и пьезотехника", для создания современных средств неразрушающего контроля и технической диагностики в рамках реализации Государственной программы РФ "Развитие промышленности и повышение её конкурентоспособности".

5. Предложить председателю ТК371 обратиться в Росстандарт с предложением организовать рабочую группу для решения вопроса изготовления и внесения в Государственный реестр средств измерений эталона механических напряжений.

6. Предложить разработчикам и изготовителям новых методов и средств НК сосредоточить свои усилия на развитии и совершенствовании методов и средств промышленной интроскопии (проекционные; томографические; эхосондирующие и их сочетание) с учетом успехов в области компьютерной, рентгеновской и ультразвуковой томографии, а также продолжить исследования в этой области.

7. Предложить предприятиям-изготовителям и предприятиям-потребителям изделий, созданных по технологиям создания современных перспективных материалов (таких как УУКМ, УККМ, ПКМ, материалы, полученные по аддитивным технологиям и т.п.) обеспечить более широкое внедрение указанных в п.6 методов и средств НК в производственный цикл.

