

Круглый стол

Технологии Индустрии 4.0: аддитивное производство

В основе возникновения всех новых производственных технологий всегда лежат одни и те же экономические причины – потребность общества и бизнеса в интенсификации производства товаров. Насколько вновь возникшая технология отвечает этому критерию, во многом определяет ее жизнеспособность и перспективы на «исторической арене». Технологии промышленной 3D-печати, позволяющие создавать объекты практически любой геометрической формы на основе цифровой модели и колоссально сокращающие циклы разработки и изготовления продукции – одно из наиболее динамично развивающихся направлений, порожденных эпохой Индустрии 4.0 и стремительно ускоряющимися процессами цифрового производства. За исторический промежуток, прошедший с момента их появления на свет, в сознании технического сообщества эти технологии прошли путь от резкого скепсиса по поводу возможностей новомодного тренда осуществить прорыв в устоявшихся десятилетиями и веками способах производства до однозначного их признания мировой промышленностью. Чтобы обсудить, на каком этапе находятся вопросы их внедрения в отечественном промышленном производстве, за сегодняшним Круглым столом собрались эксперты технологических компаний, обладающие широкими компетенциями в данной области.

В Круглом столе принимают участие:

Алексей Боровков, проректор по цифровой трансформации Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (СПбПУ), руководитель Инжинирингового центра (CompMechLab) СПбПУ;

Сергей Бутяга, технический специалист, компания РТС Россия;

Михаил Жмайло, руководитель отдела топологической оптимизации и аддитивных технологий Инжинирингового центра (CompMechLab) СПбПУ;

Василий Киселев, управляющий директор, компания Top 3D Group;

Эдуард Князев, руководитель технического отдела, компания MSC Software RUS;

Владимир Маршов, заместитель генерального директора, АО «Центр Аддитивных Технологий» (АО «ЦАТ»);

Галымжан Муканов, руководитель проектов по машиностроению, компания «Аванс Инжиниринг», Инжиниринговый центр цифровых технологий машиностроения УрФУ (ИЦЦТМ УрФУ);

Дмитрий Рябов, директор по науке, Институт легких материалов и технологий (ИЛМиТ), ОК РУСАЛ;

Олег Чиж, менеджер по развитию направления «Автоматизация обработки (NX CAM)», компания Siemens Digital Industries Software (Siemens DISW).

– Несколько лет назад наше издание проводило обсуждение состояния промышленной 3D-печати в России, из которого было очевидно, что освоение аддитивных технологий российской промышленностью находилось на тот момент в самом начале пути. Их внедрением занималось ограниченное количество промышленных компаний, которые преимущественно продавали оборудование зарубежного производства и предлагали услуги быстрого прототипирования. Что изменилось в отечественной аддитивной отрасли к настоящему времени?

В прошлом обсуждении было в частности высказано соображение, что со стороны отечественных промышленных предприятий нет серьезной заинтересованности во внедрении технологий 3D-печати, кроме традиционно технологически продвинутых авиационно-космической и автомобильной отраслей. И если вести речь о развитии своего производства 3D-оборудования, то для его рентабельности следует ориентироваться на внешний рынок, который уже занят серьезными

конкурентами, в связи с чем нам необходимо предлагать не аналоги уже существующего на нем, а разрабатывать нечто абсолютно новое. Насколько оправданы оказались по прошествии времени эти соображения? Остался ли таким уж инертным внутренний рынок для освоения АП-оборудования? Насколько рентабельно использование 3D-принтеров в производстве на тех предприятиях, где они применяются? Появились ли отечественные инновационные разработки, которые конкурентоспособны на мировом рынке?

Дмитрий Рябов, ИЛМиТ. Отечественная аддитивная отрасль за последние несколько лет сделала шаг вперед. Пока рано судить о том, насколько этот шаг большой для того, чтобы догнать страны-лидеры в области АТ, но поступательная динамика очевидна. Это касается практически всех аспектов аддитивного производства: в России изготавливаются и используются серийные металлические детали, появились и успешно сертифицировались отечественные компании, предлагающие свои решения для аддитивного производства, существенно расширилось портфолио материалов для печати. Количество 3D-принтеров, устанавливаемых на предприятиях, растет из года в год и растет количество НИОКР в этой области. Помимо этого, в России существуют и набирают популярность специализированные центры, которые оказывают услуги 3D-печати деталей и прототипов на заказ, а также инжинирингового сопровождения. В целом то, как проходит развитие АТ в России, похоже на зарубежный опыт. За рубежом достаточно популярен аутсорсинг 3D-печати, что привело к появлению большого числа аддитивных центров, многие из которых выросли и имеют не один десяток единиц оборудования. В России же пока это не очень популярно, но возможно все изменится, и мы увидим взрывной рост количества аддитивных центров и у нас.

Проблема длительного срока внедрения новых технологий во многом связана как с консервативностью мышления конструкторов и технологов, так и со стоимостью технологии в целом. И если первый фактор достаточно легко преодолить (особенно с учетом тех преимуществ, которые дают аддитивные технологии), то экономика процесса является серьезным камнем преткновения. Если говорить о 3D-установках для печати в металле, то при том, что сейчас в РФ доминирует зарубежное оборудование, использование АТ в создании массовых продуктов пока неконкурентоспособно. Кроме того, необходимо помнить, что рынок специалистов также достаточно узкий, что в свою очередь приводит к высокой стоимости труда операторов, да и порошковые материалы с учетом технологий их получения несколько дороже, чем традиционные литейные аналоги. Последний аспект, правда, нивелируется высоким КИМ аддитивных технологий. Эти обстоятельства привели к тому, что в первую очередь эти технологии стали интересны отраслям, где стоимость детали может быть менее значительной, чем эффект от ее внедрения в конструкцию. Поэтому авиакосмическая техника является одним из пионеров внедрения данных технологий, и отечественный опыт в этом плане не сильно отличается от западного.

Очевидно, что стоимость производства деталей будет снижаться по мере роста количества принтеров, снижения их стоимости и повышения числа квалифицированных операторов и технологов. Виден также тренд по снижению стоимости материалов для печати, что связано с появлением новых и расширением существующих производств. Мы в РУСАЛе смогли адаптировать существующие технологии распыления под выпуск алюминиевых порошков для аддитивных технологий, что вместе с технологиями использования отсевов позволило снизить стоимость порошковых сплавов более чем в два раза по сравнению с тем, что завозится из-за рубежа. Локализация отечественного оборудования целесообразна для отраслей, которые должны быть независимы от зарубежных поставок в силу ряда причин, и на текущий момент эти индустрии одни из главных потребителей аддитивных деталей. Кроме того, как показывает практика, отечественные образцы аддитивного оборудования дешевле европейских аналогов, а так как этот фактор определяет достаточно солидную часть в себестоимости напечатанной продукции, то российские машины могут быть вполне конкурентоспособны. Несколько российских компаний уже поставляют свое оборудование на коммерческих условиях, что говорит о достаточно высокой зрелости данного направления машиностроения в РФ. История успеха отечественных производителей только начинается, и для того, чтобы выйти на зарубежные рынки, надо вначале захватить часть отечественного.

Ранее инертность внутреннего рынка определялась в основном недоверием к новым технологиям со стороны предприятий. Сейчас об аддитивных технологиях говорят практически на каждом углу, и центр тяжести факторов, тормозящих внедрение АП-технологий, сместился в сторону экономических причин. На текущей стадии развития технологий 3D-принтер – это не унифицированное оборудование. Разные модели принтеров, несмотря на один и тот же принцип печати, имеют разные алгоритмы, разные особенности процесса или какие-то свои фирменные технологии, которые приводят к получению разных результатов. Технологии сами по себе пока не до конца изучены, поэтому нельзя поставить тождество между, например, ЧПУ-станком и принтером. Последний пока требует чуть больше внимания и специальных подходов. Этот аспект является достаточно важным, так как приводит к некоторому недоверию к отечественному оборудованию на фоне коммерчески успешных зарубежных принтеров. Что касается выхода на зарубежные рынки, то здесь надо представить конкурентоспособный продукт по низкой стоимости. Европейские рынки пока не пересыщены принтерами, да и в России этот рынок еще долго будет расти, поэтому думаю, что создание отечественного оборудования более чем оправдано.

Михаил Жмайло, компания ComMechLab. За прошедшее время ситуация изменилась, хотя эти изменения не столь значительны. Однако заинтересованные предприятия, как правило, уже имеют определенный опыт, наработки и стремятся разрабатывать новые и перспективные изделия с учетом возможностей аддитивных технологий.

Алексей Боровков, компания ComMechLab. На сегодняшний день российский рынок занимает 11-е



Алексей Боровков,
компания *ComrMechLab*



Сергей Бутяга,
компания *РТС Россия;*



Михаил Жмайло,
компания *ComrMechLab*



Василий Киселев,
компания *Top 3D Group*

место по уровню внедрения аддитивных технологий. Наибольшую долю в общем объеме рынка по-прежнему составляет закупка оборудования и материалов (около 80%), при этом соотношение зарубежного и отечественного оборудования – 60% к 40%, то есть наблюдается тренд на снижение импортозависимости.

Глобальный рынок разделен между крупными западными игроками, кроме того, конкуренция существенно осложняется выходом на рынок производителей из Китая и Кореи. При продвижении на международные рынки России следует делать ставку на те направления, где отечественные разработчики удерживают лидерство, и развиваться в рамках данной специализации. Примерами направлений, потенциально перспективных с точки зрения встраивания в международную структуру рынка аддитивных технологий могут стать разработка цифровых моделей, лежащих в основе 3D-печати, а также разработки в области материалов с заданными свойствами.

Российские разработчики в сфере аддитивных технологий специализируются в нишевых отраслях, таких как материаловедение, космическая и атомная отрасли, ОПК, авиастроение, медицина. Ожидается, что к 2030 году российский рынок должен стать одним из пяти крупнейших в мире за счет развития таких технологических направлений, обозначенных в дорожной карте национальной стратегии технологического развития, как цифровые продукты, например виртуальный принтер, являющийся многоуровневой моделью, которая позволяет сразу же спрогнозировать свойства будущего изделия, построить соответствующую сквозную технологию производства и получить вероятность достижения необходимых результатов на уровне более чем 70% на первом этапе.

Олег Чиж, компания Siemens DISW. При разработке и выводе на рынок нового оборудования всегда желательно ориентироваться на что-то абсолютно новое, так как это позволяет одним шагом перейти на качественно новый уровень технологий. Однако, как это часто бывает в промышленности, перейти на новый технологический уровень без постепенного, пошагового движения не получается. В связи с этим приходится разрабатывать аналоги существующего оборудования для пошагового развития.

Рентабельность использования 3D-принтеров в производстве зависит от множества факторов, и по этой причине существуют как рентабельные проекты, так и не очень.

Это абсолютно нормальная ситуация в промышленности, не только отечественной, но и мировой. Отечественные разработки можно смело отнести к топовым достижениям в области аддитивных технологий. Ими занимается, например, Институт лазерных и сварочных технологий Санкт-Петербургского морского технического университета (ИЛИСТ СПбГМТУ) и ярославская компания “Анизопринт”.

Галымжан Муканов, компания “Аванс Инжиниринг”. Действительно, в начале прошлого десятилетия сложилось впечатление, что аддитивные технологии – это временная мода, которая не имеет перспектив серьезного применения. И скептическое отношение к этой теме со стороны производственных предприятий казалось весьма оправданным. Но как мы видим сегодня, все не так однозначно. На основе опыта компании “Аванс Инжиниринг” и Инжинирингового центра цифровых технологий машиностроения УрФУ (ИЦЦТМ УрФУ) могу сказать, что использование 3D-печати для создания опытных партий и прототипирования уже является обычным делом. Исследования в области определения механических свойств изделий, полученных с помощью аддитивных технологий, показывают, что при правильном подходе, использовании знаний об особенностях структурных и фазовых превращений в материалах можно получать высокое качество изделий. Предприятия, готовые анализировать данные результаты исследований и имеющий опыт, уже активно применяют 3D-печать. Кстати здесь наблюдается характерная для современных руководителей особенность – доверять новым технологиям только после аргументированных научных доказательств. Поэтому вопрос о заинтересованности бизнеса в применении 3D-технологий в производственном процессе напрямую связан с проведением научных исследований в области качества изделий.

Василий Киселев, компания Top 3D Group. Сегодня в РФ реальным внедрением АТ все еще занимается не такое большое количество организаций, как могло бы быть, но прогресс идет, и установки аддитивных систем все больше и больше находят свое применение в России.

Помимо российских разработок Top 3D Group интегрирует оборудование зарубежного производства, но фокус нашего интереса все больше смещается в сторону китайских и российских производителей, мы стали меньше заниматься западными продуктами. Среди отечественных производителей, с которыми мы работаем, такие



Эдуард Князев,
компания MSC Software RUS



Владимир Маршов,
АО "ЦАТ"



Галымжан Муканов,
компания "Аванс Инжиниринг"



Дмитрий Рябов,
ОК РУСАЛ

компаний, как OnSint (SLS-печать), 3DLAM (SLM-печать), F2 Innovations и Total Z (FDM-печать).

Следует признать, что рынок остается достаточно инертным, потому что ему не хватает специалистов – в управлении компаний мало людей, имеющих серьезные компетенции в области цифровизации процессов производства.

Если говорить о рентабельности, то важно понимать, для каких целей приобретается оборудование, – если 3D-принтер берется под конкретную задачу, то он показывает себя максимально выгодно, быстро окупается и приносит прибыль.

Если говорить о рентабельности, то важно понимать, для каких целей приобретается оборудование, – если 3D-принтер берется под конкретную задачу, то он показывает себя максимально выгодно, быстро окупается и приносит прибыль.

Отечественные разработки в области 3D-печати есть, они не менее инновационны, чем западные, и в условиях здоровой финансовой и политической ситуации могли бы достойно конкурировать с зарубежными продуктами. Пока из-за пандемии и по некоторым другим причинам они не могут выйти за пределы внутреннего рынка.

Владимир Маршов, АО "ЦАТ". За последние несколько лет отрасль аддитивных технологий сделала существенный шаг вперед. Если говорить об оборудовании, все еще большая часть используемого в РФ оборудования для 3D-печати производится за рубежом. Однако есть устойчивая тенденция к развитию отечественного производства и самих 3D-принтеров, и сырья для них. При этом российские игроки занимают свою нишу как персонального оборудования, так и промышленного (например, печать металлами). Тем не менее стоит признать, что отечественный рынок АТ все еще существенно менее развит, чем лидирующие иностранные рынки.

В сфере производства наметился переход от использования аддитивных технологий для быстрого прототипирования и производства оснастки к производству с их применением конечных деталей. В таких отраслях промышленности, как авиация, двигателестроение, энергетика, космическая отрасль, уже появились изделия, при изготовлении которых использовались аддитивные технологии, причем как в опытном, так и в серийном производстве.

Заинтересованность со стороны предприятий в 3D-печати безусловно растет. Помимо аэрокосмической отрасли, данные технологии в последние годы активно внедряют судостроение, двигателестроение, атомная отрасль, медицина. Что касается рентабельности отечественного оборудования, действительно, ориентация на

копирование и доработку лучших мировых решений ограничивает экспортный потенциал. В то же время в РФ есть наработки новых технологий, которые могут быть востребованы по всему миру. Развитие и коммерциализация новых решений действительно может открыть выход на международный рынок. Стоит признать, что пока этот процесс не запущен в должной мере и относительно успешных примеров единицы. В то же время возможности внутреннего рынка, особенно в области ОПК, остаются довольно существенными для локальных игроков, что позволяет предполагать увеличение продаж внутри РФ.



Олег Чиж,
компания Siemens DISW

Относительно рентабельности использования АТ для освоения новых изделий можно уже говорить, что в большинстве случаев это более целесообразно, чем классическая подготовка производства и выпуск опытных образцов с помощью стандартных технологий. Кроме того, появились серийные изделия, где в конструкторскую документацию заложены детали, произведенные методами АТ. По сути, они изначально были спроектированы под эту технологию как наиболее рентабельную для производства той или иной детали.

– Предоставляемая аддитивными технологиями возможность гигантски сократить дистанцию между появлением конструкторской идеи и ее материализацией в готовое изделие закономерно инициировала появление новых концепций проектирования под аддитивное производство. Каковы их отличительные особенности и есть ли уже зрелые решения, готовые для практического применения?

На момент прошлого обсуждения эксперты отмечали, что существующие ин-

инструменты CAD/CAM/CAE-систем не в состоянии обеспечить эффективную работу с объектами и системами особо сложной конструкции, например создаваемыми на основе принципов бионического моделирования. Насколько современные средства разработки способны обеспечить продвижение в этой области?

Василий Киселев, компания Top 3D Group. Да, такие решения уже есть. Например, мы активно развиваем партнерство с компанией Autodesk, и самые свежие новости о ее ПО – это появление во Fusion 360, в одном из самых популярных в мире CAD-пакетах, предустановленных данных для работы с 3D-принтерами Formlabs. Это показательный пример очень полезного для промышленного производства решения, позволяющего за считанные минуты разработать дизайн изделия, оптимизировать его под 3D-печать и воплотить в реальность на офисном столе.

Пример целевого профессионального программного обеспечения – тот же Fusion 360. В нем есть дополнительный платный модуль, который обеспечивает разработку изделий с учетом принципов бионики и генеративного дизайна. Отмечу, что стоимость базовой лицензии Fusion 360 – около \$300, то есть это вполне доступное решение.

Сергей Бутяга, компания PTC. В PTC CREO технические решения для работы по концепции проектирования под аддитивное производство существуют уже несколько лет. Это решения для генеративного дизайна, то есть проектирование под заданную технологию производства, параметрическое моделирование для работы с решетчатыми структурами и фичерсами и средства для автоматической генерации поддержек при непосредственной подготовке модели для 3D-печати. Это со стороны CAD.

Со стороны CAE – это возможности, заключенные в add-on для системы PTC CREO, которое позволяет рассчитывать теплонапряженное состояние детали во время печати. Здесь следует отметить, что если сделана хорошая геометрия, то считать ее на теплонапряженное состояние, скорее всего, не нужно.

Я бы не стал утверждать, что CAD/CAM/CAE-системы не в состоянии обеспечить эффективную работу с бионическими конструкциями (если, конечно, речь не идет об отечественных системах) – вопрос в том, что это вообще новый образ инженерного мышления, к которому конструктору нужно привыкнуть, вот и все. К примеру, если вы не понимаете особенности работы 3D-принтера, то есть того, что он не может и не должен печатать геометрию а-ля ветки плакучей ивы, то вы никогда не создадите адекватную геометрическую модель для 3D-принтера.

Эдуард Князев, компания MSC Software. Безусловно, практическое применение аддитивных технологий требует и новых концепций проектирования. Одним из инструментов проектирования легких и эффективных конструкций для 3D-печати является топологическая оптимизация. Этот подход известен уже достаточно давно и заслужил признание у конструкторов как возможность предсказать варианты формы легкой и прочной конструкции на ранних стадиях проектирования. Чтобы макси-

мально автоматизировать процесс проектирования и минимизировать риски ошибок при выборе инженером не самого лучшего из возможных вариантов, необходимо специализированное программное обеспечение, работающее на новых принципах. Например, концепция генеративного дизайна, реализованная для 3D-печати в пакете MSC Apex Generative Design, позволяет оперативно получать “сглаженные” детали, непосредственно готовые для печати.

Галымжан Муканов, компания “Аванс Инжиниринг”. На сегодняшний день использование инструментов CAD/CAM/CAE-моделирования – это одна из неотъемлемых частей аддитивного производства. Решение многих научно-исследовательских задач, и не только в 3D-печати, более не представляется рациональным без применения моделирования. В частности, специалисты ИЦЦТМ УрФУ изучают и применяют методики решения на базе программного обеспечения Siemens и ANSYS для оптимизации конструкции с учетом данных ее напряженно-деформированного состояния – мы подбираем режимы печати, располагаем модель будущего изделия таким образом, чтобы обеспечить теплоотвод, при котором можно избежать коробления. Только благодаря использованию этих инструментов и накопленному нами опыту удается избежать брака в напечатанных изделиях, сократить сроки выпуска продукции и расходы на содержание установки и замену испорченного материала. Что касается создания оптимизированных бионических конструкций, то это как раз таки возможно с использованием CAE-моделирования, спрогнозировать надежность такой конструкции – это стандартная задача современного цифрового моделирования.

Олег Чиж, компания Siemens DISW. Инструменты проектирования, анализа и подготовки производства развиваются очень быстро. Например, в последней версии NX1953 внедрено более 20 функций моделирования, симуляции и подготовки к печати. Среди них такие, как:

- ▶ создание конвергентных тел со смешанной геометрией;
- ▶ моделирование текстуры;
- ▶ создание параметрических решетчатых структур;
- ▶ неявное моделирование;
- ▶ алгоритмическое моделирование;
- ▶ моделирование пористости;
- ▶ автоматический генератор микроструктуры;
- ▶ новые модели основных материалов;
- ▶ анализ появления трещин.

Эти функции призваны обеспечить переход от простого бионического дизайна к параметрическому бионическому дизайну.

Еще один подход к оптимизации – это использование многокритериального метода. Например, оптимизация прессформы по целевой функции снижения времени цикла термопластавтомата. В этом случае выполняется оптимизация параметров и расположения конформных каналов охлаждения.

Михаил Жмайло, компания CompMechLab. Работу в данном направлении ведут без исключения все разработчики инженерного программного обеспечения. У каждой из компаний есть определенные разработки

разной степени готовности. При их оценке необходимо иметь в виду, что безотносительно развития аддитивного производства и инструментов, связанных с разработкой изделий для него, арсенал программных систем, предлагаемых различными вендорами, различается. Какие-то компании фокусируются в большей степени на системах для проектирования, другие – на системах инженерного анализа и оптимизации.

На наш взгляд, на данный момент наиболее полностью можно считать наборы программных систем, предлагаемых компаниями Siemens и Altair Engineering. Однако это не означает, что другие вендоры в меньшей степени уделяют внимание развитию программного обеспечения для данного вида проектирования. Ситуация на рынке постоянно и зачастую стремительно меняется.

Алексей Боровков, компания ComMechLab.

Аддитивные технологии, или шире – аддитивное производство, целесообразно в случае нового проектирования изделий с широким применением многочисленных технологий оптимизации, которые фактически породили новые типы проектирования – бионический дизайн, генеративный дизайн. В этом случае мы можем получить лучшие в своем классе конструкции, минимальные по весу, но удовлетворяющие всем необходимым требованиям по жесткости, прочности, вибрациям, долговечности и так далее.

Дмитрий Рябов, ИЛМиТ. Новые подходы к проектированию – это то, что позволило аддитивным технологиям “выстрелить”, но и одновременно это тот фактор, который не позволил им моментально найти массовое применение. Уже много было сказано о консерватизме проектировщиков, и тем не менее концепция бионического дизайна и прочие новаторские концепции требуют адаптации конструкторами, так как до этого все проектирование строилось на возможностях существующих технологий. Достаточно быстро идеи новых видов проектирования подхватил и софт. На самом деле аддитивные технологии сегодня невозможно представить без специального программного обеспечения. Ведущие цифровые гиганты презентовали свои решения по работе с моделями и по их оптимизации с учетом различных факторов. Бионический дизайн быстро развивается, есть множество отдельных программ и надстроек, которые позволяют в автоматическом или полуавтоматическом режиме моделировать деталь по принципу подобию с природными объектами, после чего модели готовы для загрузки в принтер и материализации. По моему мнению, сейчас нет проблем с недостатком соответствующего софта, и при наличии компьютера средней мощности можно успешно работать с бионическими и другими моделями сложной формы. При этом очень сложно оценить эффективность каждого вида софта, возможно там есть чему совершенствоваться. В любом случае, на текущий момент решиться полностью доверить проектирование компьютеру могут далеко не все, и работа конструктора и расчетчика также важна и необходима.

Говоря о новых концепциях проектирования, рожденных эпохой Индустрии 4.0, необходимо должное внимание уделить генеративному дизайну. Если биони-

ческий дизайн стремится повторить природные формы, обеспечивая деталям максимальную эффективность, то генеративный дизайн – это концепция, которая была разработана специально под 3D-печать и целью которой является проектирование изделий под технологию с учетом особенностей построения детали. Данный вид проектирования не обеспечивает максимальное снижение веса, но как показывает практика, его использование позволяет существенно сократить время построения деталей или постобработки (удаление поддержек и проч.). При этом экономия времени печати может достигать до 30–40%, а это немаловажный момент с учетом стоимости машино-часа. Думаю, что в будущем именно эта концепция станет основной при проектировании и оптимизации деталей, хотя, возможно, появятся другие принципы, которые позволят конструкторам создавать детали любой степени сложности. Но самое главное, что генеративный дизайн также доступен с помощью программного обеспечения.

Стоит упомянуть и о проектировании сетчатых структур. Сложно выделить существующие здесь методы в отдельную концепцию, но эти подходы известны достаточно давно, и с появлением аддитивных технологий их реализация стала проще, чем при использовании классических технологий обработки. Изделия с сетчатой структурой обладают рядом преимуществ, однако есть специалисты, которые относятся к таким типам конструкций с осторожностью. Скорее всего, они найдут свою нишу, тем более что уже вышло большое количество публикаций относительно возможностей и преимуществ применения различных типов сеток, и существует программное обеспечение, позволяющее генерировать данные сетки. Стоит отметить, что есть и отечественный софт, обеспечивающий такой функционал, и по своему уровню он в общем-то не уступает зарубежным разработкам.

– В настоящее время для улучшения существующих производственных процессов все шире используется такая уже освоенная многими промышленными предприятиями технология, как Цифровой двойник. Насколько целесообразно ее использование для подготовки аддитивных процессов с целью оптимальной настройки управляющего ПО и оборудования для 3D-печати? Каковы возможности использования здесь Искусственного интеллекта?

Алексей Боровков, компания ComMechLab.

Цифровой двойник становится технологией-интегратором различных сквозных технологий и субтехнологий: цифрового проектирования и моделирования, компьютерного и суперкомпьютерного инжиниринга, управления требованиями, изменениями и конфигурацией изделия на всех этапах жизненного цикла (Smart Design), промышленного интернета, Smart Big Data, Искусственного интеллекта, дополненной и виртуальной реальности, робототехники, аддитивных технологий и множества других.

Разработка Цифрового двойника начинается в момент появления идеи о разработке нового продукта. Когда мы выходим с Цифровым двойником на этап эксплуатации и у нас уже есть реальное эксплуатируемое изделие, мы снабжаем его разнообразными датчиками, которые позволяют создать то, что мы называем цифровой тенью изделия, в результате обработки информации, получаемой в режиме онлайн.

Цифровой двойник может оказать влияние на процесс аддитивного производства в следующих направлениях: оптимизация параметров процесса, выявление и мониторинг сбоев, снижение вычислительной нагрузки в процессе многомасштабного моделирования, обработка больших объемов данных, поступающих с измерительных датчиков. Технология Цифрового двойника может обеспечить визуализацию процесса аддитивного производства, а ключевые показатели эффективности компонентов могут быть быстро и точно спрогнозированы с помощью входных параметров, что позволяет обнаружить узкие места и риски в процессе изготовления детали.

Одним из примеров применения Цифровых двойников в аддитивном производстве является проект армии США по поддержанию парка вертолетов Blackhawk. Этот тип вертолетов впервые был введен в эксплуатацию в 1979 году, и сейчас армия США совместно с Уичитским университетом ведет работу по 3D-сканированию каждой детали для сохранения их в виде Цифровых двойников. Цель состоит в том, чтобы создать виртуальную базу деталей для обеспечения возможности проведения подбора и замены запчастей по требованию, некоторые из которых будут изготовлены с помощью технологий 3D-печати. Цифровой двойник также будет полезен в проведении ремонтных работ. Этот пример показывает, как сочетание Цифровых двойников и аддитивного производства может продлить срок службы оборудования и техники, для которых уже невозможно производить и хранить на складах запасные части.

Что касается возможностей использования технологий Искусственного интеллекта, в нашем понимании Искусственный интеллект – это в первую очередь интеллектуальный помощник (AI assistant), который помогает находить ценные решения (проектные решения, численные решения аналогичных задач, зачастую сложных нелинейных нестационарных задач и так далее) “в прошлом”, то есть обладает памятью, основными характеристиками которой для нас являются объем и длительность хранения. Например, интеллектуальный помощник должен достаточно быстро находить оцифрованные решения, полученные несколько лет назад для решения аналогичных задач в других отраслях промышленности.

Понятно, что окончательное решение о выборе той или иной траектории проектирования (разработки) принимает эксперт на основе фундаментального физико-математического образования и передовых наукоемких мультидисциплинарных технологий.

Примером применения технологий Искусственного интеллекта в области аддитивного производства может послужить проект Аргоннской национальной лаборатории и Техасского университета A&M. Разработка систем управления с обратной связью уже много лет является

ключевой целью инженеров, работающих в сфере аддитивного производства, но жесткое программирование таких сложных алгоритмов может стать проблемой. Решением в данном случае могут выступать технологии Искусственного интеллекта. В рамках проекта группа исследователей использовала данные о температуре в реальном времени, а также алгоритмы машинного обучения, чтобы усовершенствовать алгоритм прогнозирования дефектов для 3D-печати с использованием лазерного порошкового наплавления. В частности, команда установила корреляционные связи между изменением температуры во времени и образованием подповерхностных дефектов при 3D-печати. Такой подход позволяет устранить необходимость в дорогостоящих проверках отдельных деталей, что не всегда возможно при больших объемах производства.

Другая область, в которой возможно использование Искусственного интеллекта, – генеративный дизайн. Для создания 3D-моделей все чаще применяются искусственный интеллект и машинное обучение. Например, в программном обеспечении Netfabb компании Autodesk используется машинное обучение для разработки нескольких проектных решений. Решения основаны на исходных показателях, предоставленных конструктором или инженером, таких как размер продукта, вес, прочность, материалы, стоимость и любое количество других критериев, а затем используются облачные вычисления и машинное обучение для создания нескольких проектных решений.

Искусственный интеллект способствует оптимизации самого процесса 3D-печати. С этой целью его применяет израильский стартап Printsyst в аэрокосмической отрасли. Технологическое решение основано на опыте успешной интеграции аддитивных технологий предшествующих проектов. Запатентованный алгоритм компании использует хорошо зарекомендовавшие себя параметры печати, с помощью которых можно точно оценить стоимость компонентов, время изготовления и т.д. Таким образом, алгоритм способствует увеличению производительности и снижает риск ошибок, которые могут быть очень дорогостоящими, особенно в аэрокосмической отрасли.

Михаил Жмайло, компания CompMechLab.

Технология разработки Цифровых двойников применяется в рамках подготовки задач 3D-печати. Если говорить точнее, для повышения стабильности процесса аддитивного производства возможно применение специализированных программных систем, которые позволяют на основе Цифрового двойника процесса аддитивного производства моделировать процесс построения деталей, предсказывать возможные геометрические, механические отклонения. Применение данной технологии часто позволяет получить качественный и точный с точки зрения геометрии результат печати с первого раза, без необходимости расходования ресурсов на несколько попыток запуска производства и внесение изменений в процесс.

Эдуард Князев, компания MSC Software. Технология Цифровых двойников актуальна как при использовании в целом для 3D-печати, так и в первую очередь композиционных материалов. Работа с нелинейными и анизотропными материалами требует высокой производственной культуры и постоянного контроля. Отработка таких технологий значительно облегчается при задейство-

вании виртуальной лаборатории по работе с многофазными материалами DIGIMAT, в том числе модуля для 3D-печати DIGIMAT-AM. Цифровой двойник здесь помогает более точно работать с внутренней микроструктурой напечатанной детали и учитывать реальную микроструктуру при анализе прочности и долговечности. Технологии машинного обучения и Искусственного интеллекта уже получили практическую реализацию в приложении к задачам инженерного анализа, включая процессы оптимизации 3D-печати. Например, платформа ODYSSEE позволяет применять в процессе проектирования передовые технологии машинного обучения, Искусственного интеллекта, технологии построения моделей редуцированной размерности и оптимизации конструкции.

Олег Чиж, компания Siemens DISW. Цифровой двойник является одной из ключевых технологий Индустрии 4.0. Во внедрении Цифровых двойников Siemens Digital Industries Software является лидером как российского, так и мирового рынка. Компания одной из первых внедрила в производство непрерывную цифровую цепочку аддитивных процессов и выгоду от изменения концепции 3D-печати с “попробуй и посмотри” на “правильно с первого раза”. Элементы Искусственного интеллекта уже несколько лет успешно применяются в аддитивных установках, работающих по DED-технологии, которые управляются системой ЧПУ Sinumerik. Это станки серии Lasertec 3D hybrid от компании DMG MORI. В этих станках Интеллект используется для адаптивного управления процессом наплавки с целью обеспечения постоянной высоты наплавляемого слоя. И таких примеров можно привести достаточно много.

Сергей Бутяга, компания РТС. Искусственный интеллект как основа заложен в технологию генеративного дизайна, это, собственно, и есть тот механизм, который заставляет компьютер “думать” над геометрией, удовлетворяющей ограничениям производственной технологии.

Дмитрий Рябов, ИЛМиТ. Цифровой двойник – прорывная технология, которая тем не менее требует для своего использования достаточных вычислительных мощностей. Современные компьютеры развиваются стабильными темпами, поэтому сегодня двойники приходят в различные отрасли науки и техники. Вопрос использования Цифрового двойника в области аддитивного производства, по моему мнению, достаточно актуален. В этом плане аддитивные технологии не отличаются от любых других, и при наличии правильных баз данных и хороших моделей можно будет точно предсказывать и результаты 3D-печати. Конечно, не стоит забывать о различных факторах, таких как неоднородность порошковых материалов или различные флуктуации лазерного излучения, либо особые стратегии сканирования, но их влияние может быть минимизировано в моделях.

Я бы не стал утверждать, что уже есть успешно работающие Цифровые двойники в сфере 3D-печати, но однозначно можно сказать, что уже существуют “виртуальные принтеры” – специализированное ПО, которое позволяет предсказывать процесс печати, включая термические напряжения и связанные с ними поводки. В

свою очередь этот же софт позволяет корректировать модель самой детали для обеспечения максимального сходства с материальным образцом. Мы в нашем центре аддитивных технологий в Институте легких материалов и технологий используем такое ПО. Оно уже показало свою эффективность, поскольку позволяет избавиться от нескольких итераций печати и занять принтер другими задачами, что снижает стоимость отработки технологии. Пока корректное функционирование этих продуктов зависит от правильного наполнения баз данных, и перед нами стоит задача по созданию таких баз для всех наших материалов, а не только для стандартных. Это пока лишь первые шаги, но от них зависит простота и скорость внедрения новых решений. При том что современные компьютерные мощности вполне состоятельны для решения данных задач, я не удивлюсь, если через пять лет мы сможем увидеть полноценные Цифровые двойники.

Галымжан Муканов, компания “Аванс Инжиниринг”. Технология Цифрового двойника также набирает популярность, ИЦЦТМ УрФУ один из первых в стране стал использовать данную технологию. У нас широко используются и создаются методики, основанные на системном инжиниринге, например с рядом стратегических партнеров, таких как КАМАЗ, ОДК, Синара-транспортные машины, мы создаем Цифровые двойники комплексных сложных архитектурных объектов. ИЦЦТМ УрФУ решает ряд задач с использованием установок для 3D-печати, одна из которых базируется на селективном лазерном плавлении. Поэтому мы крайне положительно относимся к использованию концепции Цифрового двойника для подготовки аддитивных процессов. Я считаю, что прорывные технологии должны применяться на прорывных решениях, иначе как еще учесть данные с датчиков, информацию об изделии, данные о сырье, параметры 3D-принтера и научиться их корректировать в процессе производства? Систематизация здесь, как ни странно, возможна только с применением системного инжиниринга.

Василий Киселев, компания Top 3D Group. 3D-печать не отклоняется от общих трендов и продуктивно применяется вместе с любыми другими полезными технологиями. Естественно, если на предприятии присутствуют протоколы проектирования по Цифровым двойникам, аддитивные технологии и ПО, которое используется для оптимизации геометрии изделий, предназначенных для 3D-печати, синергично дополняют эти технологические процессы, а также существенно ускоряют вывод итогового продукта в эксплуатацию.

Искусственный интеллект также будет активно применяться, как только появятся первые серьезные практические решения на его основе, заточенные под аддитивное производство.

– Актуальным трендом цифрового преобразования промышленного производства на сегодняшний день является интеграция технологических и бизнес-процессов в рамках всего цикла изготовления и реализации продукции. На каких платфор-

мах это лучше осуществлять, если иметь в виду внедрение АП-процессов в существующее производство и общую цепочку создания стоимости?

Сергей Бутяга, компания РТС. Не согласен с употреблением понятия интеграции в данном контексте, поскольку любые технологические процессы – такие же бизнес-процессы, как и процесс управления производством, к примеру. Скажем, если вы варите сталь, но не владеете ноу-хау по процессу ее выплавления и не знаете особенностей процесса и используемых химических формул, то у Вас нет никакого бизнес-процесса.

Если говорить о платформах, то работа MES-системы в качестве корректирующей системы дневного плана, например, может быть организована на любой ИТ-платформе, которая обеспечит управление и при необходимости коррекцию бизнес-процессов в режиме on-line. Это может быть технологическая система, например, от компании Rockwell Automation. Она сделана на основе технологии Промышленного Интернета вещей. Это может быть другая MES-система. Что касается включения бизнес-процессов, характерных для PLM-систем, например процесса внесения изменений (ECN/ECR), то он не обязательно должен быть интегрирован в MES-систему или ERP, поскольку совершенно спокойно может существовать и без них.

То есть когда доводится слышать от современных российских руководителей, что им нужна двунаправленная связь между ERP и PLM, то понимаешь, что люди говорят и мыслят так, как им навязывает реклама производителей, вместо того чтобы подумать, что нужно именно на их производстве. Есть вещи, которые про управление и практики управления, есть вещи которые делает просто какая-то из промышленных платформ, а есть вопросы, которых вообще не должно возникать, потому что некоторые вещи нужно просто знать.

Не надо ничего пытаться автоматически интегрировать – любое количество систем можно связать с помощью Интернета вещей, например эту возможность предоставляет платформа ThingWorx, которая будет просто подтягивать данные со всех подключенных систем.

Олег Чиж, компания Siemens DISW. Рекламным слоганом аддитивного производства можно было бы сделать фразу “усложним конструкцию бесплатно”, которая отлично “играет” с расхожей поговоркой “сложность бесплатна”, имея при этом положительный, а не ироничный смысл. Самый мощный аспект аддитивного производства для конструктора – это свобода создавать сложную форму – органическую, решетчатую для экономии веса или материала, форму с тщательно продуманными внутренними переходами или единую сложную форму, которая заменяет то, что при производстве по классической технологии должно быть сборкой.

Однако аддитивные технологии предоставляют конструкторам не только “бесплатную сложность”. Более важным моментом для конструктора является свобода проектирования. Инженеры-конструкторы, использующие АП, могут свободно дорабатывать, настраивать и оптимизировать новый дизайн практически всеми способами, которые существуют в принципе, в поисках более дешевого и более эффективного изделия. Другие произ-

водственные процессы не предлагают подобную гибкость и свободу.

Практически любой инженер-конструктор, кроме тех, кто получил образование совсем недавно, при проектировании работает с оглядкой на концепцию “технологичность конструкции”. Возможности производственных процессов всегда накладывали ограничения на конструкцию, и конструкторы должны помнить и знать о них. Самая распространенная претензия производителей к конструкторам – это несоблюдение этих ограничений. Аддитивное производство разрушает эту систему ограничений. 3D-печать – первый производственный процесс, минимально лимитирующий геометрию детали.

“Вместо того, чтобы проектировать с технологическими ограничениями, аддитивное производство позволяет создавать функциональность”. Это драматическое изменение в подходе к проектированию, которое в производстве все еще только пытаются осознать.

Галымжан Муканов, компания “Аванс Инжиниринг”. Компания “Аванс Инжиниринг” сформировала набор цифровых технологий и подходов – Цифровое КБ, основанных на обширной базе знаний и многолетнем инженерном опыте, что позволяет проектировать сложные изделия намного быстрее и повышает точность результатов. Отлаженные технологии способны обеспечить эффективную работу существующей ИТ-инфраструктуры предприятия или точно определить необходимые мероприятия по ее развитию. Благодаря проектированию, расчетам и испытаниям в едином цифровом пространстве появляется возможность проследить уровни технологической готовности изделия, не создавая при этом дорогостоящих опытных образцов и макетов. Эти подходы уже нашли широкое применение в самых масштабных проектах и ключевых отечественных отраслях промышленности.

Алексей Боровков, компания ComMechLab. Главная задача, стоящая перед производителями в условиях развития Индустрии 4.0, это создание кастомизированного продукта за короткий промежуток времени. Препятствием в реализации этой задачи является отставание технологических процессов производства от результатов компьютерного инжиниринга. Решение проблемы возможно путем применения технологии аддитивного производства. С нашей точки зрения, идеологию этого процесса следует рассматривать как замкнутый цикл: единая цифровая платформа позволяет создавать Цифровой двойник, оптимизировать его по весу, геометрии, макро- и микроструктуре материала, по итогу чего дается команда 3D-принтеру печатать конструкцию с управляемой структурой. На сегодняшний день такого “сквозного” программного обеспечения практически не производится, Санкт-Петербургский политехнический университет специализируется на промежуточных звеньях – “сквозном” цифровом инжиниринге.

В ближайшее время СПбПУ запустит первую в России роботизированную установку, собранную в ИММиТ, купив у одного из партнеров компании Siemens программное обеспечение, которое позволит управлять моделированием, проектированием, 3D-печатью и постмехобработкой – все в одном софте.

Василий Киселев, компания Top 3D Group.

Универсальный продукт такого типа представлен лидером рынка в этой области – бельгийской компанией Materialise. Ее решения предоставляют огромное количество возможностей по интеграции данных и общему управлению процессом печати. Стоит отметить, что уже многие компании озаботились этим вопросом, не только для промышленного, но и для других профессиональных применений. В качестве примера можно привести отечественные бренды Picaso 3D и Imprinta – они договорились с производителями ПО о партнерстве – включении профилей их принтеров в софт. Подобные системы автоматизации позволяют управлять целыми фермами принтеров и всегда иметь онлайн актуальную информацию о процессе печати и состоянии каждой единицы оборудования.

– Сейчас уже осуществляются пилотные инициативы по созданию аддитивного производства полного цикла. В каких областях может быть востребовано в ближайшее время создание таких производств? Какие проблемные моменты существуют при их организации?

Олег Чиж, компания Siemens DISW. Siemens является признанным лидером индустриализации аддитивного производства. В компании уже используется производство полного цикла при изготовлении газовых и паровых турбин. Наши решения также используются в таких областях, как авиационная промышленность, производство авиационных двигателей, машиностроение, автомобильная промышленность и многие другие. Создание производства полного цикла в автомобильной промышленности можно организовать на базе принтеров компании Hewlett Packard HP Jet Fusion 5200. По заявлению компании, сегодня экономически эффективно использовать принтеры при производственной программе менее 55 тысяч деталей в год. Если производственная программа больше, то экономически целесообразно применять классическую технологию литья под давлением. Эта цифра постоянно изменяется в большую сторону, так как по мере увеличения использования принтеры и материалы становятся доступнее. Кроме этого последние версии принтеров являются полноцветными, таким образом отпадает необходимость в окраске, что также положительно сказывается на себестоимости производства.

Дмитрий Рябов, ИЛМиТ. Аддитивное производство полного цикла – это своеобразный “кит”, который должен быть полностью независимым от других направлений бизнеса. С одной стороны это хорошо, но с другой стороны серьезное многостадийное производство с использованием аддитивных технологий требует очень тонкой отладки и производительности каждой стадии процесса. Несмотря на то что переход с одного материала на другой при распылении и при печати занимает не так много времени, современные критерии качества и массового производства требуют, чтобы такие переходы были минимальны, так как остается вероятность некачественной очистки от предыдущего

порошка и загрязнения одного материала другим. В целом для создания и успешного функционирования подобного производства нужен уже сформировавшийся рынок со стабильным спросом, ведь продуктивное портфолио и производственные мощности выстраиваются на основе потребностей рынка. Поэтому капитальные затраты на создание таких производств всегда достаточно ощутимы.

Но подобные компании уже есть и в России, и в мире. Пока они являются небольшими по мощностям, да и создавались они в основном не столько как полноценные производства, сколько в целях исследований и перспективных разработок. Одним из примеров таких компаний является наш ИЛМиТ, где имеется оборудование для производства порошков, их печати, оборудование для пост-обработки деталей. Помимо этого мы используем специализированное ПО для реверс-инжиниринга, перепроектирования, специализированных расчетов и моделирования процесса печати. Целью такого комплексного подхода было продвижение на рынки нашей основной продукции – алюминиевых порошков для 3D-печати. Этого было сложно достичь без развития собственных компетенций в этой области, ведь в аддитивных технологиях материалы – это тот же высокотехнологичный продукт, который напрямую влияет на качество конечного изделия, и от его технологичности и стабильности зависит работоспособность детали в целом. Именно поэтому создание производства полного цикла позволило нам продавать не только материал, но и описание режимов его печати. Мы смогли открыть новое направление – создание новых материалов для 3D-печати по запросам наших клиентов. В таком случае создание полного цикла было оправдано, хотя массовые заказы на порошок, к примеру, все равно будут исполняться основным производством. Тем не менее еще одной особенностью аддитивного производства является тот факт, что даже один принтер может являться фабрикой в миниатюре и успешно производить определенное количество деталей под заказ, соответственно, даже небольшие центры могут называться производством.

Владимир Маршов, АО “ЦАТ”. Действительно, такие проекты давно обсуждаются, и первые примеры уже существуют. Один из них – Центр аддитивных технологий (ЦАТ) ГК Ростех. На одной из площадок Центра реализован полный цикл аддитивного производства: инжиниринг, 3D-печать, термическая и механическая обработка, контроль качества, полноценный лабораторный участок. В первую очередь подобные центры востребованы в тех отраслях, где уже осознали преимущества АТ и их необходимость для выпуска современной конкурентоспособной продукции. Сдерживающими факторами при организации таких центров являются их новизна, отсутствие в РФ опыта по созданию подобных организаций и недостаточная нормативная база.

Алексей Боровков, компания CompMechLab. Технологии 3D-печати продолжают демонстрировать, что их не стоит воспринимать только как способ прототипирования. Они могут использоваться для крупносерийного производства и производства конечных деталей.

В отчете Sculpteo “Состояние рынка 3D-печати” 50% респондентов сообщили об использовании данной технологии для производства конечных изделий. Кроме того, снизилась доля применения быстрого прототипирования.

Для крупносерийного производства ключевыми факторами являются масштабируемость и повторяемость. За последние несколько лет аддитивное производство полного цикла было индустриализовано, чтобы обеспечить подходящие условия для решения этих задач. Существенный прогресс был достигнут в области оборудования, но наблюдаются изменения и в области программного обеспечения и систем постобработки.

Василий Киселев, компания Top 3D Group.

Никогда аддитивные технологии, если рассматривать 3D-принтер как станок, не был “вещью в себе”. Аддитивный процесс производства, как и другие, предусматривает подготовительные и последующие этапы, в данном случае это – препринт и постпринт. Также повсеместно встречается совместное применение 3D-печати с другими системами предприятия, работающими по другим технологиям.

Во всех отраслях, где применяются профессиональные промышленные системы, будет расти количество производственных цепочек с аддитивным оборудованием. Наилучший результат дает совместное применение в них различных технологий, а полномасштабное промышленное производство полного цикла, построенное на одной только 3D-печати, в ближайшее время мы вряд ли увидим.

– На момент прошлого обсуждения эксперты отмечали, что фактор, который как никакой другой тормозит применение и дальнейшее развитие аддитивных технологий, это отсутствие стандартов в отношении технологических процессов и готовых изделий. Как на сегодня обстоит дело с вопросами сертификации и стандартизации в области АП?

Дмитрий Рябов, ИЛМиТ. Вопрос сертификации и стандартизации и на текущий момент является одним из самых острых при внедрении аддитивного производства. И эта проблема актуальна не только в России, но и, например, в Европе. Технологии “выстрелили” достаточно быстро, многие специалисты очень быстро прочувствовали и ощутили их преимущества, но многие ответственные области применения на текущий момент оказались закрытыми по причине отсутствия либо стандартов, либо единых принципов сертификации изделий. Вопрос сертификации осложняется тем фактом, что большое разнообразие машин и рост числа поставщиков материалов неизбежно приводят к увеличению вариативности в триаде “машина – материал – изделие”. К сожалению, пока нет стандартного изделия и сложно унифицировать технологии производства материалов, поэтому приходится жестко закреплять использование одних типов материалов на конкретных типах машин внутри производства. Да, это может быть не просто с учетом ограниченного парка, но положительные тренды в сфере сертификации также видны. Например, наши зарубежные партнеры формулируют конкретные требования по сертификации РУСАЛа как поставщика порошка для аддитивных тех-

нологий. Все это одна часть большого пласта вопросов сертификации производства в целом.

Если говорить о разработке стандартов, то в этой области ведется достаточно активная работа в рамках комитета ТК-182. Россия в данном вопросе находится пока в числе догоняющих, однако стандарты обновляются регулярно, и если все начиналось с разработки базовых стандартов по терминологии, то сейчас разрабатываются более серьезные стандарты, касающиеся аттестации установок и производства. В любом случае говорить о массовом применении технологий можно будет только после стандартизации данного направления и только при условии массовой разработки и внедрения различных отраслевых регламентов или регламентов внутри предприятия.

Олег Чиж, компания Siemens DISW. Дело в том, что процедура сертификации новых материалов и процессов – это достаточно длительный и дорогостоящий процесс. Однако в этом направлении в последнее время произошли значительные подвижки как у нас в стране, так и за рубежом. Кроме этого, активно разрабатываются и внедряются государственные стандарты аддитивного производства. На начало 2021 года в России действует уже 28 национальных стандартов (ГОСТ Р) в области аддитивных технологий. Наша страна является одним из признанных мировых лидеров по нормативно-техническому обеспечению данного направления, и многие из российских стандартов уникальны и не имеют международных аналогов. Программой национальной стандартизации на 2021 год в целях развития аддитивных технологий запланирована разработка еще 11 стандартов в данной сфере.

Алексей Боровков, компания CompMechLab.

По состоянию на конец 2020 года был утвержден ряд новых стандартов в области аддитивных технологий, разработанных отраслевым интегратором Государственной корпорации “Росатом” ООО “Русатом – Аддитивные технологии” в рамках профильного технического комитета по стандартизации № 182 “Аддитивные технологии” (ТК 182):

- ▶ ГОСТ Р 59184-2020 “Аддитивные технологии. Оборудование для селективного лазерного сплавления. Общие требования”;
- ▶ ГОСТ Р 59037-2020 “Аддитивные технологии. Конструирование металлических изделий. Руководящие принципы”;
- ▶ ГОСТ Р 59038-2020 “Аддитивные технологии. Подтверждение качества и свойств металлических изделий”;
- ▶ ГОСТ Р 59036-2020 “Аддитивные технологии. Производство на основе селективного лазерного сплавления металлических порошков. Общие положения”.

Галымжан Муқанов, компания “Аванс Инжиниринг”.

Вопрос сертификации и стандартизации материала, фракции порошка, технологии и установки также открыт и требует оперативного решения. Но благодаря совместным усилиям многих специалистов в этой области продвижение в данном направлении идет своим ходом. Мы уже используем отечественные сертифицированные материалы. Огромная база материаловедения позволяет ускорить процесс получения новых порошков на основе имеющихся знаний и накопленного опыта по

металлическим сплавом. Так, ученые Уральского федерального университета разрабатывают технологию производства металлических порошков сферической формы и размерностью от 5 до 40 мкм. При помощи 3D-принтинга такие порошки могут использоваться для изготовления ответственных деталей в авиастроении, аэрокосмической отрасли, медицине. На сегодняшний день в университете близится к завершению создание экспериментальной лабораторной установки, принцип действия которой состоит в распылении расплава струей инертного газа.

Кроме того, в процессах сертификации и квалификации материалов, применяемых в аддитивном производстве, активно используется система управления информацией о материалах (MDM) ANSYS Granta MI. Система позволяет создать автоматизированную среду с планом экспериментов и анализом свойств изделия в зависимости от режимов печати, а также разработки, апробации и квалификации технологий нанесения. При этом хранение данных о материалах и процессах АП в едином источнике делает процессы квалификации и аттестации полностью прослеживаемыми на любом из этапов.

Василий Киселев, компания Top 3D Group.

Работа по стандартизации аддитивного производства ведется, но касается это пока лишь самых значимых и ответственных отраслей – оборонной и аэрокосмической. Дела здесь идут не особенно быстро. В секторе ВПК по большей части происходит заимствование общепринятых мировых стандартов. Для гражданского применения в бизнесе, не связанном с авиацией, космосом и вооружением, стандартизация остается открытым вопросом.

Сергей Бутяга, компания PTC. Применение и развитие аддитивных технологий в России тормозят только преграды, которые у людей в голове, потому что человек так устроен, что ему всегда сложно сделать то, что он не понимает. Что такое стандартизация АП, если одних технологий АП существует более десятка? Как вы будете их стандартизировать, если, например, binder jet-технология требует наличия растворителей связующего, а SLS-технология предполагает дополнительные операции по отделению поддержек?

– Каковы перспективы применения 3D-печати в такой динамично развивающейся сфере промышленной автоматизации, как робототехника? Как в отношении печати на 3D-принтерах конструктивных частей самих роботов, так и использования роботов для решения всего спектра задач при изготовлении изделий и объектов с помощью 3D-печатающей техники?

Галымжан Муканов, компания “Аванс Инжиниринг”.

Робототехника априори не может существовать без использования смежных технологий современного кластера. Например, для снижения массы конструкции робота, удовлетворения требованиям по габаритам и в других немаловажных аспектах применение аддитивных технологий крайне целесообразно, а во многих случаях 3D-синтез изделия является единственным решением для поставленных задач современной робототехники. В начале своего развития аддитивные технологии, кстати, как раз таки применялись в сфере роботостроения.



ПЕРЕДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗАЦИИ КОНФЕРЕНЦИИ 2021

#ПРОМЫШЛЕННАЯ
АВТОМАТИЗАЦИЯ

#INDUSTRY 4.0

#ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

#ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ

#ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ

#ИНФОРМАЦИОННАЯ
БЕЗОПАСНОСТЬ

29 СЕНТЯБРЯ

ПТА - Нижний Новгород

📍 Отель «Sheraton Нижний Новгород Кремль»

27 ОКТЯБРЯ

ПТА - Новосибирск

📍 Отель «Новосибирск Марриотт»

01 ДЕКАБРЯ

ПТА - Екатеринбург

📍 Novotel Екатеринбург Центр

Организатор **Экспопротек**

+7 (495) 234-22-10 | WWW.PTA-EXPO.RU

Реклама.

Олег Чиж, компания Siemens DISW. Роботы давно нашли широкое применение в 3D-печати. Впечатляющим примером может служить комплекс, использующий DED-технологии, Института Лазерных и Сварочных Технологий (ИЛИСТ) в Санкт-Петербурге. Этот комплекс производится мелкими сериями уже несколько лет и пользуется устойчивым спросом в российской промышленности.

Зарубежных примеров промышленного использования комплексов 3D-печати на базе роботов достаточно много. Один из них – использование робота в 3D-печати в центре компетенции аддитивных технологий AMEC в Эрлангене (Германия). Комплекс отличается применением высокоточного робота нового поколения под управлением системы ЧПУ Sinumerik 840D. Что касается производства на 3D-принтерах конструктивных частей самих роботов, то это дело времени. Как только 3D-печать компонентов робота станет экономически целесообразной, она будет использоваться повсеместно. Например, уже сейчас компания HP широко использует свои промышленные 3D-принтеры HP Jet Fusion 5200 Series для печати воздухопроводов, которые применяются в этих же промышленных принтерах.

Василий Киселев, компания Top 3D Group. Аддитивные технологии в робототехнике и автоматизации применяются в основном для печати различных инструментов и оснастки, для кастомизации инструментов, применяемых самими роботами, их периферийных устройств и вспомогательных приспособлений, таких как всевозможные защелки, захваты и проч. Роботы-манипуляторы и роботизированные промышленные 3D-принтеры широко применяются для печати металлами – порошком и проволокой, для экструзионной печати гранулами, крупноформатной грубой печати пластиком.

Алексей Боровков, компания CompMechLab. Обе технологии – аддитивное производство и робототехника – часто эффективно дополняют друг друга. Использование 3D-печати при создании роботов позволяет усилить их технологические характеристики, адаптируемость, универсальность.

Аддитивные технологии уже используются в массовом производстве инструментов, сборочных и установочных приспособлений, улучшающих производство сложных продуктов. Для индустрии робототехники индивидуальное моделирование деталей, адаптированных под конкретные задачи, является важным аспектом. Изготовление деталей по индивидуальному заказу демонстрирует, как 3D-печать и аддитивное производство могут по-разному применяться в различных отраслях. Подобно тому, как производство использует 3D-печать и аддитивные технологии для создания специальных приспособлений, индустрия робототехники может использовать 3D-печать как часть процесса инженерного проектирования, а также для изготовления оснастки и конструкций.

Геометрия деталей роботов часто является сложной и дорогостоящей для производства с использованием традиционных производственных процессов. Кроме того, робот может быть разработан для очень специфических задач, таких, например, как проверка нефте- и газопроводов. Узкая специализация и небольшой объем заказа делает себестоимость производства непомерно высокой,

в то время как использование аддитивных технологий предоставляет инженерам больше гибкости для создания наиболее удачных роботизированных продуктов.

– Об широчайшем потенциале 3D-печати говорит появление новой прорывной технологии на ее основе – 4D-печати, реализующей концепцию “программируемой материи” (Programmable matter, PM). Есть ли в нашей стране уже наработки в этой области? Для каких промышленных применений и как скоро эта технология сможет использоваться?

Дмитрий Рябов, ИЛМиТ. Технология 4D-печати – достаточно интересный концепт. Информация о ней появилась не так давно, но это направление уже стало обрастать поклонниками. В целом, если смотреть трезво на данную технологию и предлагаемые решения, то чувствуется некая спекуляция на технологиях 3D-печати. Метаматериалы известны достаточно давно и по сути концепция четырехмерной печати представляет собой напечатанный объект, который должен трансформироваться вне принтера. В сущности никакого нового измерения тут нет, и изготавливать трансформирующиеся объекты можно и с помощью других технологий.

Тем не менее, сама по себе концепция заслуживает внимания, так как позволяет использовать преимущества как самих материалов, так и технологий. В мире уже существуют примеры различных клапанов и других трансформирующихся объектов, которые были напечатаны по данной технологии. Относительно конкретных применений пока мы можем только фантазировать: данные изделия могут применяться для различных приводов и систем пропускания, которые могут управляться за счет изменения среды (например, в спутниках за счет нагрева солнцем). Их, вероятно, можно использовать в различных системах электроники, но и не стоит забывать о различных дизайнерских историях. Возможно, будет как и с 3D-печатью: развитие данных технологий позволит вдохнуть новую жизнь в различные концепты бионических структур или создать новые концепции проектирования. К сожалению, я пока не видел результаты, которые отечественные ученые и разработчики получили в данной области, но и мировой опыт также крайне ограничен, поэтому все страны находятся примерно на одном уровне, тем более, что трансформирующиеся материалы в отечественной практике также известны.

Алексей Боровков, компания CompMechLab. 4D-печать – суть создание меняющихся по форме в зависимости от внешних воздействий изделий, это весьма интересное и перспективное направление. Однако говорить о том, что оно получит в ближайшей перспективе широкомасштабное внедрение, рано, поскольку на данный момент не до конца ясно, в каких областях, кроме машиностроения и медицины, оно может применяться.

Примером разработок в этой области является один из проектов Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. В рамках проекта впервые в России будет разработан особый метод объемной печати, уже получивший название 4D. Новый материал бу-

дет менять форму в зависимости от тепла, давления или других внешних факторов.

Изделия, созданные на 3D-принтере, невозможно изменить. 4D-печать позволяет осуществить изменение эксплуатационных характеристик изделия. Существует класс материалов с памятью формы – когда форма меняется, например, под воздействием температуры, а потом возвращается в исходную. Идея проекта Петербургского Политеха заключается в том, что эти “умные” материалы дорабатываются, вследствие чего создается программируемая структура. Затем изготавливается изделие, которое под воздействием внешних факторов меняется так, как это необходимо.

Олег Чиж, компания Siemens DISW. Siemens, как и многие ведущие мировые компании, ведет разработки в этом направлении. Также мы предлагаем инструменты моделирования в соответствии с концепцией “программируемой материи”. Примерами таких инструментов моделирования являются модули “Неявное моделирование” и “Алгоритмическое моделирование”. Эти модули позволяют динамически, в зависимости от входных параметров (например, скорости и/или температуры) изменять геометрию сложного геометрического объекта (например, модели лопатки газотурбинного двигателя). Это абсолютно новый подход к моделированию, и для его использования в промышленных проектах должно пройти некоторое время.

Василий Киселев, компания Top 3D Group. У компании Top 3D Group, как очень разностороннего интегратора, есть возможность поставлять экзотические виды материалов по специфическим запросам наших клиентов, например материалы с памятью формы для экструзионной печати, способные реагировать на химическое или физическое воздействие. В этой области мы работаем с зарубежными производителями. Массово использоваться такие материалы будут не скоро, применение им еще предстоит найти.

– В нашем предыдущем обсуждении проблематики аддитивных технологий эксперты склонялись к тому, что в обозримом будущем они не смогут заметно потеснить традиционные технологии массового производства, и их назначение – лишь дополнить уникальными возможностями существующие способы промышленного производства. Но стремительное развитие аддитивной индустрии последних лет заставляет усомниться в этих прогнозах. Насколько реальной альтернативой и в какой перспективе выглядит переход к инфраструктуре производственных процессов, основанных на 3D-печатных технологиях?

Олег Чиж, компания Siemens DISW. Переход к широкому внедрению аддитивных технологий в серийное производство, по прогнозам аналитиков, был намечен на конец 2021 года. Пандемия COVID-19 сместила эту дату, так что, сделав поправку на период непредвиденного застоя, будем рассчитывать, что это произой-

дет к концу 2022 года. Как только этот процесс будет запущен, он будет лавинообразным, поскольку он кардинально повлияет на конкурентоспособность компаний. Когда аддитивные технологии придут в серийное производство, они окажут значительное воздействие на себестоимость, функциональность и качество изготавливаемой с их помощью продукции.

Ожидаемый и контролируемый результат на выходе во многих процессах можно получить, контролируя входные параметры и обеспечивая контроль процесса в режиме реального времени.

Этот достаточно простой принцип на практике получается достаточно сложно организуемым и дорогостоящим, особенно с учетом того, что аддитивные процессы являются новыми и малоизученными, требуют создания новой инфраструктуры, высокого уровня цифровизации и разработки методик контроля. Все еще дорогостоящий и трудоемкий процесс проведения испытаний и подтверждения качества является дополнительным фактором, отпугивающим пользователей технологии.

Для получения гарантированного качества изделия, требуется обеспечить работоспособность, надежность и единство оборудования, процессов и продукта.

Сергей Бутяга, компания PTC. Дело в том, что этот переход уже произошел. Достаточно посмотреть на опыт западных компаний. Не стоит делать умозрительных выводов, когда дело касается технологий, здесь они часто не работают. Технология на то и технология, что она развивается, если ею занимаются. Если заниматься философией, вместо техники, то получится “Наша Раша”, если взяться за ум с цифрами в руках – то Япония. Очень многое зависит от внутренних ментальных установок человека.

Михаил Жмайло, компания ComMechLab. Говорить об аддитивном производстве как об альтернативе традиционным производственным технологиям не вполне корректно. Безусловно, в каких-то специфических применениях 3D-печать может успешно заменить традиционные виды производства, однако это именно специфические применения, в которых применение традиционных способов, например литья, было не вполне рационально из-за малой серийности. В широком смысле аддитивное производство остается передовой и перспективной производственной технологией, находящейся в одном ряду с другими технологиями Индустрии 4.0 и успешно дополняющей их.

Эдуард Князев, компания MSC Software. Организация производственных процессов – это та область, где основными критериями эффективности являются стоимость, временные затраты и надежность. В настоящее время, при массовом производстве, традиционные технологии выигрывают у технологий 3D-печати практически по всем параметрам. Тем не менее, области практического использования аддитивных технологий постоянно расширяются, снижается время печати, стоимость, повышается надежность. И возможно, уже в следующем десятилетии мы увидим радикально другую картину, и 3D-печать сможет значительно потеснить традиционные процессы.

Дмитрий Рябов, ИЛМиТ. В первую очередь необходимо задаться вопросом, для чего массово заменять традиционные технологии аддитивными. В целом такой подход не является прагматичным и оправданным. Всегда будут продукты и сегменты, где 3D-печать будет уступать по тем или иным аспектам другим технологиям. Есть такое выражение – “лучшее – враг хорошего”, оно, разумеется, достаточно спорное, но иногда хорошо работающие процессы должны продолжать работать, особенно там, где это оправдано. 3D-печать является и должна оставаться альтернативной технологией, которая позволит совершенствовать конструкторские и технологические идеи, а также получать продукты, которые лучше, чем их предыдущие образцы.

Это не означает, что цеха аддитивного производства не нужны, более того, они существуют. Они должны стать независимым производством, целью которого будет получение изделий, которые специально спроектированы под особенности этого производства, либо изделий, которые нерационально получать другими технологиями. Огромное количество аддитивных центров в Европе, США и Азии показывают свою состоятельность, а ряд крупных игроков на рынке аддитивного оборудования представляют свои концепции автономных роботизированных цехов. Конечно же, это здорово, и уже сейчас все это выглядит более чем реализуемым, поэтому, думаю, что осталось подождать совсем немного, и мы увидим эти концепты собственными глазами. Тем более что при налаженном процессе уже сейчас несколькими принтерами может успешно управлять один оператор. Но это точно не значит, что остальные производства будут массово закрываться.

Галымжан Муканов, компания “Аванс Инжиниринг”. С определенной уверенностью могу заявить, что производство, основанное на аддитивных технологиях, начинает занимать определенные узконаправленные сферы, к примеру такие, как создание сложных архитектурных элементов систем охлаждения двигателей и турбин. Использование в этой области традиционных методов крайне нерационально, и ряд отечественных и иностранных производителей уже используют на постоянной основе 3D-печать на протяжении полного цикла создания изделий и более того, интенсивно развивают инфраструктуру производственных процессов.

Алексей Боровков, компания ComMechLab. Бизнесы, которым важно учесть уникальные характеристики каждого изделия и обеспечить персонализацию продукта, уже взяли на вооружение аддитивные технологии. Они используются в стоматологии, ортопедии, ювелирном деле для производства единичных изделий специфической конфигурации. Это свойство 3D-печати используют и предприятия автопрома, судостроения, авиакосмической отрасли, приборостроения, атомной промышленности и ОПК. Они прибегают к помощи аддитивных технологий, когда нужно проектировать и производить более сложный продукт с меньшей себестоимостью разработки и производства и делать это быстро и качественно. Кастомизация изделия в рамках этой модели не является настолько сложной задачей, чтобы стоимость конечного продукта былакратно выше традиционного массового изделия.

Ключевой эффект аддитивных технологий состоит в проектировании и производстве таких изделий, которые

невозможно изготовить традиционными способами. Например, изделий со сложной геометрией или предусматривающих использование специальных материалов.

Другое основание для применения аддитивных технологий – производство малых партий, пробных изделий, кастомизированной продукции, то есть те случаи, когда становится нецелесообразной наладка сложной производственной линии с дорогостоящей оснасткой, дающей положительный экономический эффект только при значимых тиражах продукта. В этом случае аддитивные технологии могут выступать в качестве вспомогательного инструмента при том же литье – для печати выплавляемой или выжигаемой мастер-модели, по которой будет отлито изделие. В том числе при малых партиях, если невозможно печатать металлами, для которых применимо литье. Иными словами, производственные технологии не исключают, а дополняют друг друга, и каждая имеет свое назначение и свои сильные стороны.

Одной из идеологических задач, направленных на развитие аддитивного производства в России является создание центров аддитивных технологий, которые должны объединиться в сеть, аккумулирующую всю информацию о том, как происходит печать того или иного материала или изделий. Как только статистика достижения требуемого качества станет соразмерной ожиданиям заказчика, аддитивные технологии будут иметь потенциал для того, чтобы стать массовой технологией.

Василий Киселев, компания Top 3D Group. Все проходит испытание временем. Наиболее востребованы будут те технологии, которые смогут предложить решение проблем заказчиков более эффективным способом. Аддитивные процессы более эффективны во многих производственных циклах, так как более гибки к изменениям запросов и требований заказчика и обеспечивают возможность кастомизации производства в любой момент.

Как только какая-то технология обеспечивает дополнительные возможности для стабильного массового производства, она становится серьезным игроком, иногда и конкурирующим с традиционными технологиями.

В недалеком будущем, возможно, получат распространение производства, полностью основанные на аддитивных технологиях. А пока, как показывает практика, намного эффективнее их сочетание в той или иной мере с традиционными технологиями.

Мы выражаем благодарность экспертам, принявшим участие в данном Круглом столе, за высказанные ими обстоятельные соображения по предложенной проблематике. Участники обсуждения единодушны во мнении о высоком потенциале технологий аддитивного производства и в том, что они, несмотря на еще большее количество нерешенных задач, реально меняют привычный производственный уклад и открывают широкий путь для дальнейшей трансформации производства. О том, какие фантастические перспективы ожидают нас всех на этом пути, учитывая грядущий расцвет 4D-печати, мы поговорим в будущем обсуждении. Возможно, даже через весьма непродолжительное время.

Круглый стол провела Елена Васильева

В РАМКАХ X ПЕТЕРБУРГСКОГО МЕЖДУНАРОДНОГО ГАЗОВОГО ФОРУМА

**XXIV МЕЖДУНАРОДНАЯ
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА
ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ
ДЛЯ ГАЗОВОГО ХОЗЯЙСТВА**

**5-8
октября
2021**



ufi
Approved
Event



НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

ЦИФРОВЫЕ РЕШЕНИЯ

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ
РАЗРАБОТКИ**

ОФИЦИАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА:



ОРГАНИЗАТОР ПЕТЕРБУРГСКОГО
МЕЖДУНАРОДНОГО ГАЗОВОГО ФОРУМА

EXPOFORUM

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПАРТНЁР:

**ГАЗОВАЯ
ПРОМЫШЛЕННОСТЬ**

**ТЕРРИТОРИЯ
НЕФТЕГАЗ**

**КОРРОЗИЯ
ТЕРРИТОРИИ
НЕФТЕГАЗ**

ОРГАНИЗАТОР **FareXPO** **FE**[®]
PROFESSIONAL EXHIBITION & CONGRESS ORGANIZER

Тел/факс: +7(812) 718-35-37
gas2@farexpo.ru www.rosgasexpo.ru

МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ:

Санкт-Петербург, конгрессно-выставочный центр «ЭКСПОФОРУМ»,
павильон G ГАЗПРОМБАНК, Петербургское шоссе, 64/1