

# Интеграция IoT-платформы PTC ThingWorx и Flowplex для создания Цифрового двойника технического объекта на основе системного моделирования

Современные платформы Промышленного Интернета вещей (IIoT) предоставляют пользователям расширенный набор средств и технологий для быстрой разработки и развертывания своих приложений. Наличие в составе IIoT-платформ мощных инструментов работы с Большими данными, поддержка промышленных протоколов обмена информацией, встроенных средств предиктивной аналитики и решений дополненной реальности позволяют эффективно использовать IIoT-платформы для создания Цифровых двойников технических объектов высокой сложности. Как показывает практика, для решения с помощью Цифрового двойника таких важных задач, как оценка текущего состояния оборудования и всей системы, в которой оно эксплуатируется, определения оптимальных условий работы и прогнозирования остаточного ресурса данных, полученных от физических датчиков, бывает недостаточно.

Компания «Фабрика Цифровой Трансформации» (ФЦТ) опирается в своей деятельности на концепцию гибридного Цифрового двойника (рис. 1), которая предполагает, что кроме общепринятых физических датчиков применяются виртуальные датчики, предоставляющие информацию об измеряемом параметре объекта на основе математического моделирования с использованием системной модели. Под системной моделью в данном случае понимается математическая модель, описыва-

ющая параметры и характеристики нескольких единиц оборудования, работающих взаимосвязанно в рамках одной установки/станции.

Важными преимуществами гибридного Цифрового двойника, основанного на системной модели, являются:

- ▶ возможность количественного определения отклонения параметров оборудования от эталонного состояния в местах, где физические датчики отсутствуют и/или их нельзя установить;
- ▶ возможность количественной оценки влияния состояния отдельных единиц оборудования на производительность и эффективность системы в целом;
- ▶ обоснованное планирование производительности технологических установок на основе обеспечения оптимальных режимов работы всего оборудования, входящего в их состав;
- ▶ определение достаточности объема и качества проведенных работ по техническому обслуживанию оборудования;
- ▶ уменьшение влияния человеческого фактора на получаемые результаты;
- ▶ обоснованное предъявление требований к новому производственному оборудованию.

Наличие системной модели физических процессов в составе промышленного решения ФЦТ дает существенное преимущество по сравнению с Цифровыми двойни-

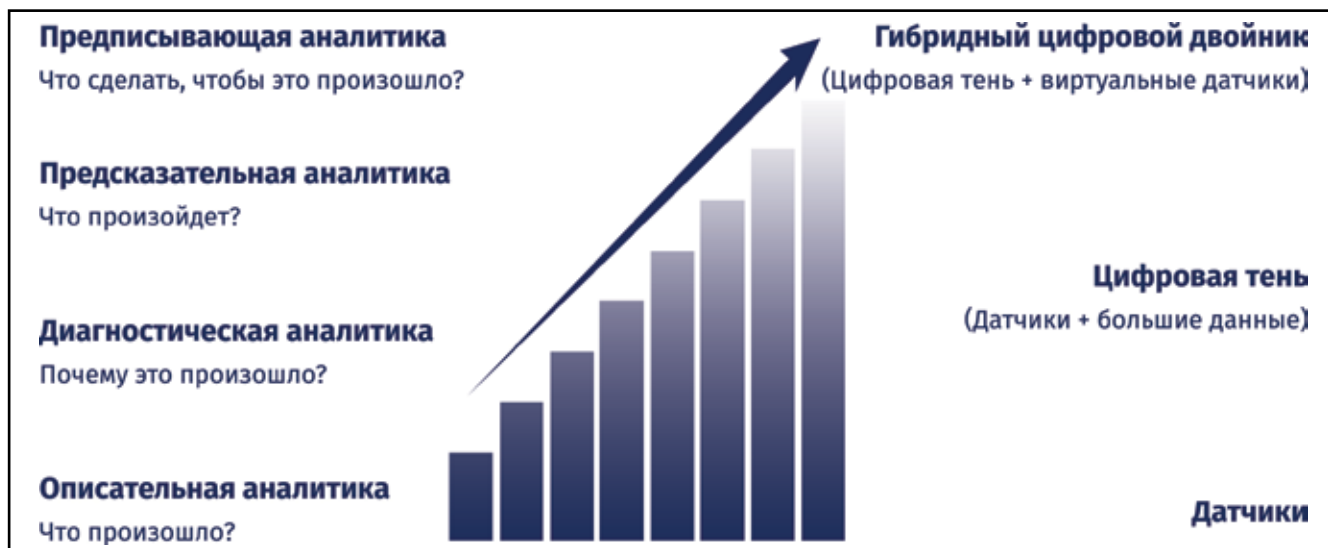


Рис. 1. Эволюция технологии Цифрового двойника

ками оборудования, основанными исключительно на технологиях машинного обучения. Реальное производство может получать достоверную, базирующуюся на физических законах информацию о текущем состоянии и прогнозируемом ресурсе оборудования в условиях ограниченного количества физических датчиков, неполной статистики по предыдущим условиям, режимам работы и отказам. Другое важное преимущество – быстрая и малозатратная настройка Цифрового двойника после модификации, замены или ремонта оборудования. Изменение физических параметров в системной модели надежно учитывает факт физических ремонтов, замены узлов и агрегатов. Более того, применение системной модели открывает для Цифрового двойника дополнительные возможности в отношении использования прогнозной аналитики за счет:

- ▶ вычисления параметров оборудования, недоступных для физического измерения, и количественного определения их влияния на производительность всей установки/станции;
- ▶ возможности расчета ретроспективных данных для восполнения пробелов в информации о работе оборудования до того, как оно было оснащено системами сбора и хранения данных;
- ▶ возможности количественного учета влияния на общую производительность системы отдельных параметров, описывающих как текущее состояние оборудования, так и внешние факторы.


Для построения системной модели использует наиболее современное сертифицированное про-

граммное обеспечение от мировых лидеров в области математического моделирования ANSYS и MTI – ПО Flownex, прекрасно зарекомендовавшее себя при решении широкого круга задач из различных отраслей промышленности.

Чтобы достичь высокой точности расчетов, сопоставимой с точностью показаний физических датчиков, системная модель проходит процедуру калибровки. Калибровка системной модели производится по показаниям имеющихся датчиков и в реальных условиях эксплуатации.

Кроме этого, для повышения точности в системную модель могут быть встроены модели пониженного порядка (Reduced Order Models, ROM), полученные в ходе конечно-элементного расчета оборудования. Эти модели не уступают по точности результатам инженерного анализа, выполняемого конструкторскими подразделениями и научно-исследовательскими лабораториями при проектировании оборудования, а будучи интегрированными в системную модель Цифрового двойника, обеспечивают высокую скорость решения, что является необходимым требованием в условиях современного производства.





В отличие от моделей, применяемых на этапах проектирования, системная модель получает на вход не искусственные данные из технического задания, а реальные значения уровней воздействующих факторов и нагрузок во всем многообразии их возможных сочетаний. Это позволяет значительно расширить достоверность получаемых результатов и строящихся на их основании прогнозов.







**ФАБРИКА  
ЦИФРОВОЙ  
ТРАНСФОРМАЦИИ**

## Мы внедряем лучшие комплексные решения для диагностики и прогноза состояния промышленного оборудования

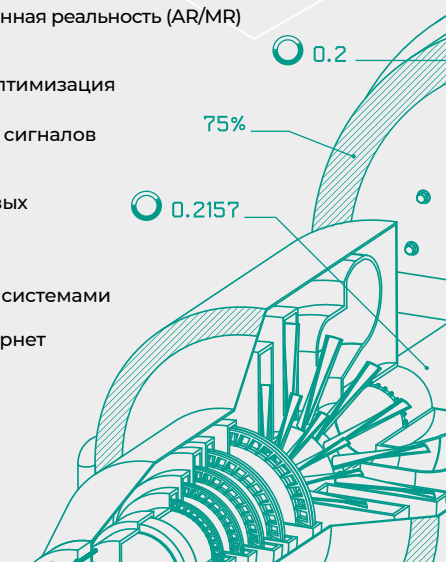
### Вы хотите?

-  Уменьшить затраты на техническое обслуживание активов
-  Снизить количество внеплановых остановов и простоев активов
-  Повысить уровень промышленной безопасности на производстве
-  Контролировать эффективность эксплуатации активов в оптимальных диапазонах
-  Контролировать качество продукции и сократить количество брака
-  Получить преимущества перед конкурентами, предоставляя новые возможности

### Наши технологии

-  Системное и численное моделирование
-  Дополненная и смешанная реальность (AR/MR)
-  Машинное обучение и параметрическая оптимизация
-  Машинная обработка сигналов и вибродиагностика
-  Агрегирование полевых подключений
-  Интеграция с информационными системами
-  Промышленный интернет вещей (IIoT)

+7 (495) 178 0 178 | [info@digitaltwin.ru](mailto:info@digitaltwin.ru) | [www.digitaltwin.ru](http://www.digitaltwin.ru)  
123317, г. Москва, Пресненская наб., д. 6, стр. 2,  
Башня «Империya», этаж 36, офис 3631



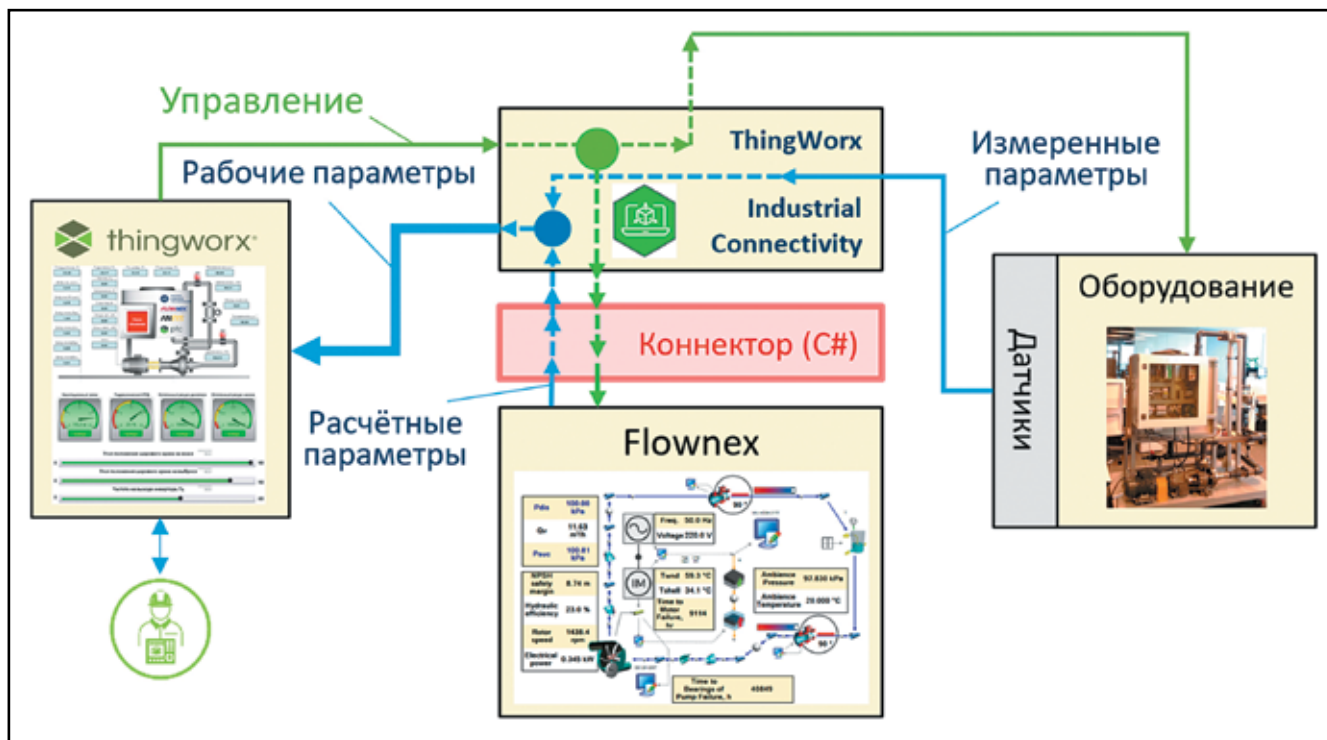


Рис. 2. Структурная схема Цифрового двойника насосного агрегата

Расчет проводится в условиях, максимально приближенных к реальным на конкретный момент работы, причем имеется возможность получения характеристик, соответствующих как новому оборудованию, так и оборудованию с текущим или даже прогнозируемым предельным уровнем износа. Для критически важных характеристик, быстрое изменение которых может приводить к внезапным отказам оборудования, системная модель может прогнозировать статические состояния и время их наступления. Примером может служить расчет температуры обмотки электродвигателя после изменения параметров питания или нагрузки на валу. Рост температуры обмотки в этом случае происходит быстрее, чем температуры корпуса. В результате превышение допустимого уровня температуры может произойти скрытно от оператора и привести к преждевременному отказу оборудования.

Системная модель сложной промышленной установки содержит большое количество взаимосвязанных элементов, поэтому ее калибровка в ручном режиме может занимать значительное время. Однако, как показывает практика, данный эффект во многих случаях может быть минимизирован путем использования автоматизированной калибровки с применением современных численных методов оптимизации. В этом случае пользователю необходимо описать сценарии калибровки модели, задать целевую функцию и ограничения. Дальнейший подбор параметров модели будет произведен машиной автоматически, после чего останется только оценить "физичность" рассчитанных калибровочных параметров.

Автоматизированная калибровка позволяет использовать системную модель для диагностирования текущего состояния оборудования. С этой целью в сценарий калибровки вводятся параметры, характеризующие деградацию параметров установки, например загрязне-

ние трубопроводов, поверхностей теплообменников и радиаторов, износ рабочих колес насосов, ухудшение параметров теплоизоляции и т.п. После процедуры калибровки численные значения диагностических параметров показывают, в каком месте какой уровень деградации имеется.

Важной задачей, решение которой значительно упрощается при применении системной модели, является определение остаточного ресурса оборудования. Эксплуатационные характеристики оборудования, используемые для вычисления показателей надежности, в большинстве случаев в полном объеме не измеряются на промышленных установках. Например, для определения интенсивности отказов электродвигателя необходимо знать температуру обмотки и корпуса, а также обороты вала. Если обороты вала могут быть приближенно оценены по частоте питания двигателя, то температура часто не фиксируется. Для откалиброванной системной модели вычисление этих параметров с необходимой точностью является типовой решаемой задачей.

Применение перечисленных выше решений в комплексе позволит сократить издержки на эксплуатацию оборудования. В первую очередь это достигается за счет увеличения межремонтного интервала, что является следствием правильной, осознанной эксплуатации всего оборудования, входящего в состав технической системы.

Следующим способом снижения стоимости эксплуатации является поддержка планирования ремонтов. В этом случае точности определения остаточного ресурса работы оборудования способствует не только учет реальных режимов работы, рассчитываемых системной моделью, но и уверенность в том, что оборудование эксплуатировалось без выхода характеристик за границы рабочих диапазонов. Более того, сокращение времени на поиск неисправности также обеспечивается систем-

ной моделью за счет решения задачи периодического диагностирования состояния оборудования.

Правильный выбор оборудования по рабочим характеристикам, полученным с использованием системной модели и накопленным в базе Цифрового двойника, позволяет произвести экономически обоснованную модификацию оборудования, избежав перерасхода средств на избыточный запас, но и не впадая в ложную экономию, из-за которой новое оборудование будет функционировать с постоянными или периодическими перегрузками. В качестве примера гибридного Цифрового двойника может быть приведен демонстратор насосного агрегата, созданный компанией ФЦТ.

Демонстратор представляет собой замкнутую систему с баком. Центробежный насос, приводимый от электродвигателя, перекачивает жидкость по трубам, забирая ее из бака и возвращая обратно. На подающем и напорном трубопроводах установлены дистанционно управляемые шаровые краны. Управление демонстратором осуществляется дистанционно.

Цифровой двойник насосного агрегата реализован на платформе IIoT PTC ThingWorx. Для системного моделирования физических процессов и расчетов надежности применяется программное обеспечение MPTI Flownex. Структурная схема взаимодействия элементов Цифрового двойника приведена на рис. 2.

Платформа ThingWorx для взаимодействия с внешними системами использует технологию REST (Representational State Transfer), что позволяет организовать доступ к программным элементам Цифрового

двойника через HTTP. Для связи с физическими и виртуальными датчиками, а также датчиками управления электродвигателем и шаровыми клапанами используется входящий в состав платформы модуль ThingWorx Industrial Connectivity, предлагающий библиотеку из более чем 150 драйверов для оборудования и клиентов, а также плагины расширений, поддерживающие различные источники данных.

Чтобы связать платформу Интернета вещей с программным обеспечением системного моделирования, потребовалось разработать программный коннектор, взаимодействующий с Flownex через его API с одной стороны и с ThingWorx через REST API – с другой.

Для взаимодействия с оператором был разработан пользовательский интерфейс, приведенный на рис. 3, доступ к которому осуществляется через web.

В демонстраторе реализованы следующие ключевые особенности гибридного Цифрового двойника:

▶ **Виртуальные датчики.** Виртуальные датчики контролируют как неизмеряемые физическими датчиками параметры установки, так и измеряемые. Смысл дублирования реальных датчиков виртуальными состоит в демонстрации возможностей программы системного моделирования обеспечивать точность решения, сравнимую с измерениями. Кроме этого у такого дублирования есть и чисто практический смысл, заключающийся в контроле работоспособности датчиков. При возникновении отклонений автоматически фиксируется аномалия, связанная с предположением о выходе датчика из строя. К кон-

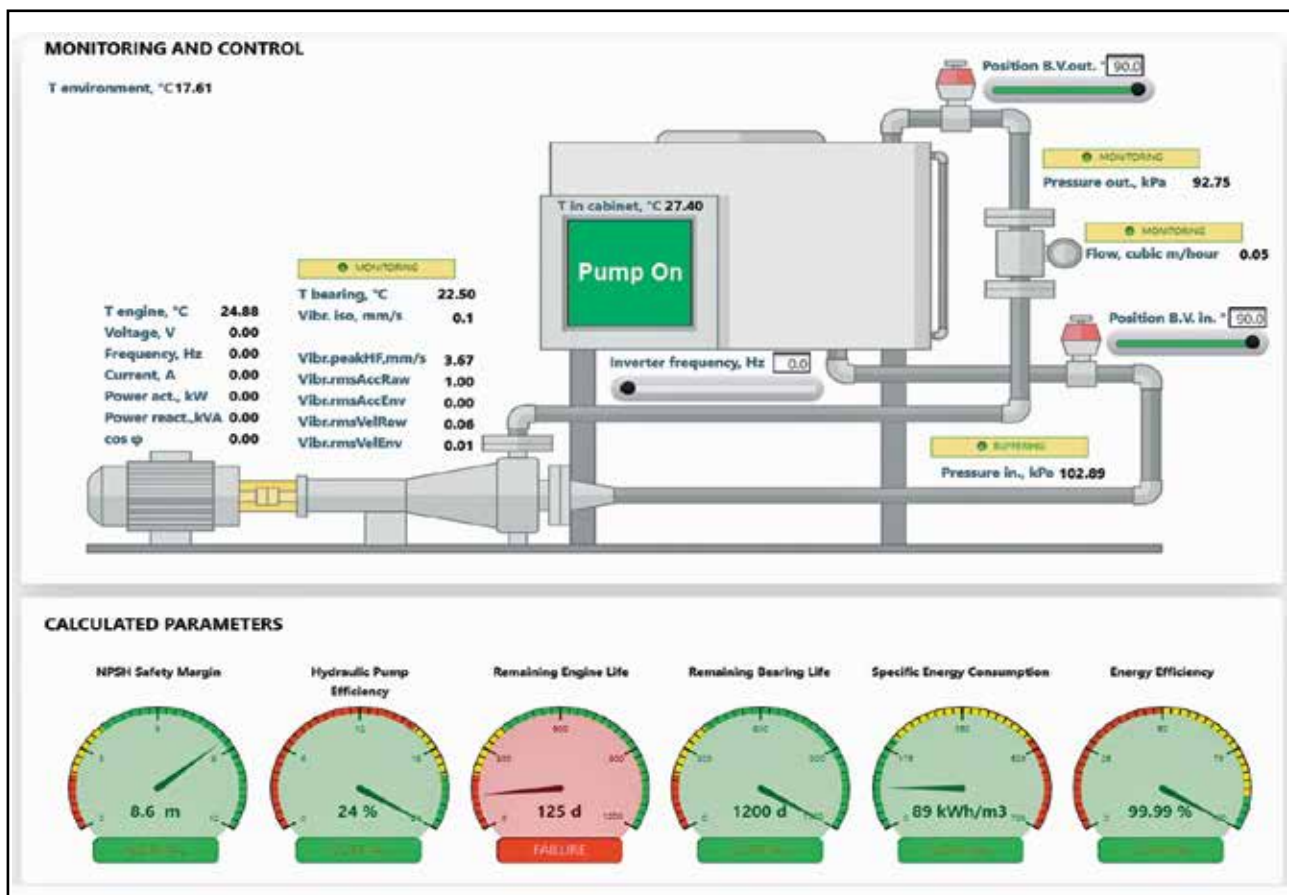


Рис. 3. Пользовательский интерфейс оператора насосного агрегата

тролируемым на основе физических и виртуальных датчиков параметрам относятся: энергопотребление электродвигателя, давление в трубе перед входом в насос, давление в напорной трубе, расход воды, температура окружающей среды и корпуса электродвигателя. С помощью виртуальных датчиков контролируются температура обмотки электродвигателя, КПД и кавитационный запас насоса. Виртуальные датчики позволяют значительно расширить возможности по контролю над допустимыми рабочими режимами насоса и электродвигателя.

► **Предсказание остаточного ресурса оборудования.** Остаточный ресурс оборудования предсказывается на основе двух подходов – расчета надежности по справочным данным и использования методов регрессии для предсказания отказов по непосредственным измерениям параметров работы оборудова-

ния. В основе расчетной оценки надежности лежат два справочника – MIL-HDBK-217F, который используется для оценки остаточного ресурса электродвигателя, и ГОСТ 18855-213 (ИСО 281:2007) – для оценки остаточного ресурса подшипников подшипниковой группы. Регрессия используется для определения фактического остаточного ресурса подшипников качения подшипниковой группы на основе измерения их температуры и уровня вибрации.

► **Удаленное управление, контроль рабочих режимов и доступ к истории эксплуатации оборудования.** Данный функционал реализован с использованием средств платформы PTC ThingWorx, дополненных собственными программными разработками ФЦТ.

В. Воловиков, О. Маковельский,  
ООО “Фабрика Цифровой Трансформации”

## НОВОСТИ

### Honeywell – ПО для управления эффективностью предприятия

Компания Honeywell объявляет о выпуске Honeywell Forge for Industrial – программного пакета для управления производственными показателями в сфере операционных технологий. В нем использованы Цифровые двойники техпроцессов и активов, передовые средства анализа данных, а также многолетний опыт работы Honeywell в обрабатывающей промышленности. Все это позволяет промышленным предприятиям достичь максимальной производительности и поддерживать ее. С помощью Honeywell Forge for Industrial заказчик получает мгновенный доступ к результатам проводимого в реальном времени сравнительного анализа и может принимать более взвешенные решения, положительно влияющие на рабочие показатели, надежность, безопасность и прибыльность оборудования.

Honeywell Forge for Industrial собирает и обобщает информацию о производственных операциях, анализирует ее и помогает определить реально достижимый оптимальный уровень производительности, дополняя полученные выводы предсказательной аналитикой, чтобы определить возможности для улучшения. Также предостав-



ляются рекомендации, которые в реальном времени помогают устранять упущения, влияющие на производительность, и работать с максимальной эффективностью.

“В рамках производственных процессов промышленным предприятиям приходится обрабатывать все больше данных, поступающих из разных источников. Поэтому способность извлекать значимую информацию становится все более важной как для конкретных исполнителей, так и для руководства. Это позволяет быстро адаптироваться к меняющемуся рынку, принимать своевременные и точные решения и оптимизировать рентабельность, – говорит Марк Сен Гупта (Mark Sen Gupta), директор по исследованиям ARC Advisory Group. – Дру-

гая проблема заключается в том, что сейчас большое количество работников в отрасли выходит на пенсию. Так мы теряем критически важные знания и опыт”.

Пакет Honeywell Forge for Industrial помогает получить полное представление о том, как выполняются операции в масштабах всего предприятия. Он предлагается на основе модели “программное обеспечение как услуга” (SaaS), которая предусматривает надежную защиту от киберугроз. Платформа помогает компаниям преодолевать проблемы, вызванные быстрой сменой технологий, устареванием оборудования и демографическими изменениями в рабочей силе.

“Honeywell Forge for Industrial решает одну из насущных проблем, с кото-

рыми сталкиваются наши заказчики: им приходится принимать решения на основе неполной и разрозненной информации, получаемой от нескольких платформ, – отмечает Мурали Манди (Murali Mandi), исполнительный директор Honeywell Connected Enterprise. – Теперь клиенты могут использовать наш опыт для принятия обоснованных решений с учетом собственных данных, тем самым обеспечивая безопасность, прибыльность и предсказуемость результатов и рисков. Все это поможет им повысить надежность и производительность активов, а также расширить возможности персонала. Мы хотим, чтобы каждый рабочий день наших заказчиков был их лучшим днем”.

# rosmould

Международная выставка форм, пресс-форм, штампов, услуг по проектированию изделий и их контрактному производству

**08 – 10 июня 2020**

МВЦ «Крокус Экспо», Москва



+Новый раздел выставки

**3D TECH / Аддитивные технологии и 3D-печать**

[www.rosmould.ru](http://www.rosmould.ru)



messe frankfurt

mesago

Messe Frankfurt Group

# rosplast

Международная выставка оборудования и материалов для индустрии пластмасс

**08 – 10 июня 2020**

МВЦ «Крокус Экспо», Москва

[www.rosplast-expo.ru](http://www.rosplast-expo.ru)



messe frankfurt