

# Управление производственными процессами на основе весоизмерений

Любовь Бабушкина

В статье представлены современные решения для ряда типовых задач управления технологическими процессами непрерывного и дискретного производства, основанные на высокоточном динамическом взвешивании объектов, жидкых и сыпучих материалов. Основные достоинства таких специализированных решений – возможность освободить универсальный программируемый контроллер от задач обработки данных с весоизмерительных датчиков и реализация сложных алгоритмов без программирования, путём гибкой настройки предустановленной программы.

## Вступление

Если промышленное предприятие ставит своей целью не просто выжить в конкурентной борьбе, а заметно опередить соперников по рынку, оно стремится постоянно повышать качество продукции и эффективность производства. Для успешного решения этих стратегических задач необходимо совершенствовать систему управления качеством и внедрять самые современные средства автоматизации.

Делая ставку на высокий уровень технической оснащённости производства, предприятие получает возможность успешно функционировать и развиваться даже при ухудшении рыночных условий (удорожании сырья и энергоносителей, обострении конкуренции, ужесточении отраслевых нормативных требований и т.п.).

Очевидно, что управление производством невозможно без использования согласованной системы измерений для количественной оценки технологических процессов. Поэтому особое место среди средств промышленной автоматизации занимают датчики и первичные преобразователи – «органы чувств» АСУ ТП. Не менее важной составляющей современной системы автоматизации становятся средства интеграции этих устройств, позволяющие использовать их с наибольшей эффективностью.

## Измерение веса в промышленности

Технологические процессы во многих отраслях включают стадии, требующие измерения такого важного физического параметра, как вес. В непрерывном производстве это, например, дозирование, смешивание, розлив, накопление и хранение жидких и сыпучих компонентов. Прежде всего, речь идёт о химической, нефтехимической, пищевой и фармацевтической промышленности, о добывающей отрасли, о секторе производства стройматериалов (бетона, лакокрасочных материалов и др.), а также о предприятиях вторичной переработки и утилизации отходов. В дискретном производстве, например в лёгкой промышленности, часто встречаются такие

технологические процедуры, как сортировка, отбраковка, фасовка. Кроме того, во многих отраслях вес может выступать важной характеристикой для выходного контроля продукции.

Наиболее распространённый тип датчиков веса, применяющихся сегодня в промышленности, – тензометрические датчики, обладающие высокой точностью и быстродействием при умеренной стоимости. В основе тензометрии лежит свойство тонкоплёночных резисторов изменять своё сопротивление даже при минимальной деформации. Резисторы, соединённые по схеме моста и смонтированные в металлическом корпусе датчика, преобразуют пропорциональное массе механическое воздействие в соответствующее изменение

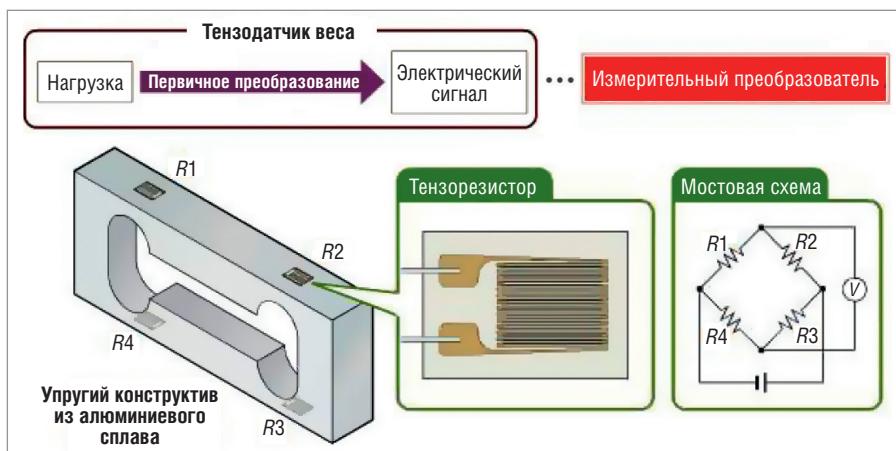


Рис. 1. Принцип работы тензометрических датчиков веса

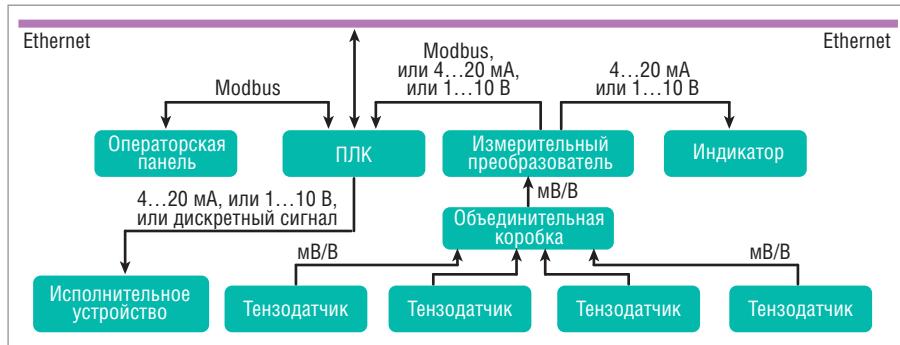


Рис. 2. Типовая структурная схема промышленной весоизмерительной системы

подаваемого напряжения (рис. 1). Таким образом, первичный электрический сигнал с четырёхпроводного датчика имеет размерность мВ/В. Такой вид аналогового сигнала требует дополнительного преобразования в стандартную форму, пригодную для передачи в систему сбора данных.

Классическая промышленная весоизмерительная система (рис. 2) включает в себя один или три-четыре тензодатчика, смонтированных на специальных опорах, коммутационную коробку для суммирования сигналов и измерительный преобразователь. Преобразователь может быть как аналоговым, на выходе которого формируется сигнал типа 4...20 мА или 1...10 В, так и цифровым, с выходным интерфейсом RS-485 и передачей по протоколу промышленной полевой шины Modbus. Сформированный стандартный аналоговый или цифровой сигнал поступает на вход модуля сбора данных и передаётся на контроллер (ПЛК). Согласно алгоритму работы АСУ ТП, на основании полученных данных о весе ПЛК может автоматически подавать управляющие сигналы исполнительным устройствам. Например, при достижении определённого значения веса может инициироваться открывание или закрывание питающего клапана, перенаправление объекта на другую ветвь конвейера, изменение скорости движения конвейерной ленты, пуск или останов насоса и т.п. Кроме того, собранные данные о весе передаются на уровень операторского контроля, где могут служить основным или вспомогательным параметром для принятия оператором того или иного решения по управлению технологическим процессом.

В отличие от широко распространённых процедур статического взвешивания (товаров в торговых точках и на складах, грузов на подъёмном оборудовании, автомобилей и вагонов в пунктах весового контроля, багажа в аэропортах,

пациентов в медицинских учреждениях и т.п.) на производстве более востребовано динамическое взвешивание, которое может происходить, например, в ходе заполнения или разгрузки резервуаров, во время движения объектов или потока сырья на конвейере. Задача высокоточного динамического взвешивания существенно усложнена присутствием помех, возникающих от вибрации (при перемещении взвешиваемого объекта с транспортировочного на измерительный сектор конвейера, при механическом перемешивании компонентов во взвешиваемом резервуаре и т.п.).

Поэтому для получения достоверных результатов динамического взвешивания требуется непрерывная высокоскоростная обработка и фильтрация поступающего с датчиков сигнала, что, с одной стороны, усложняет внедрение весоизмерительной системы за счёт трудоёмкого программирования ПЛК, а с другой стороны, в процессе эксплуатации системы может создавать значительную нагрузку на контроллер, замедляя или нарушая его работу по управлению сегментом АСУ ТП в целом.

Благодаря техническому прогрессу в области промышленной автоматизации эти сложности легко преодолеваются. В соответствии с мировыми

технологическими трендами, направленными на реализацию концепции Industry 4.0, сегодня наблюдается постепенная децентрализация систем управления и увеличение «интеллектуальной составляющей» на нижних уровнях АСУ ТП [1].

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ ВЗВЕШИВАНИЕ С ПОМОЩЬЮ SCAIME eNod4

Наиболее передовым решением в области динамического взвешивания стали весоизмерительные системы, предложенные французской компанией SCAIME, которая имеет более 30 лет опыта разработки и производства высококачественных промышленных средств измерения механических параметров — веса, силы, деформации и др. [2].

Компания SCAIME наделила свои цифровые измерительные преобразователи дополнительными функциями, которые фактически сделали их небольшими специализированными контроллерами для локальной автоматизации тех участков производства, где требуется контроль и управление технологическим процессом на основе данных о весе объектов или материалов. Конструктивно преобразователи-контроллеры SCAIME представляют собой компактные (ширина 22 или 32 мм) устройства для размещения на DIN-рейке (рис. 3). В отличие от универсальных контроллеров устройства семейства eNod4 не требуют предварительного программирования, поскольку уже содержат типовые алгоритмы, сохраняя при этом значительную гибкость настроек. Это позволяет легко адаптировать их к конкретной задаче. При этом реализованная в контроллерах eNod4 поддержка стандартных промышленных протоколов даёт возможность также легко интегрировать весоизмерительную систему в АСУ ТП, значительно снизив нагрузку на ПЛК (рис. 4). Кроме того, устройство eNod4 может работать без ПЛК, то есть служить основой для автономно работающей интеллектуальной весоизмерительной системы с локальным управлением.

Настраиваемая многоступенчатая обработка сигнала в преобразователе (рис. 5) сводит к минимуму влияние различного рода помех и позволяет сохранить высокую точность и скорость динамического взвешивания даже в сложных производственных условиях.

Эффективность весоизмерительных преобразователей-контроллеров обес-



Рис. 3. Внешний вид цифрового преобразователя-контроллера SCAIME семейства eNod4

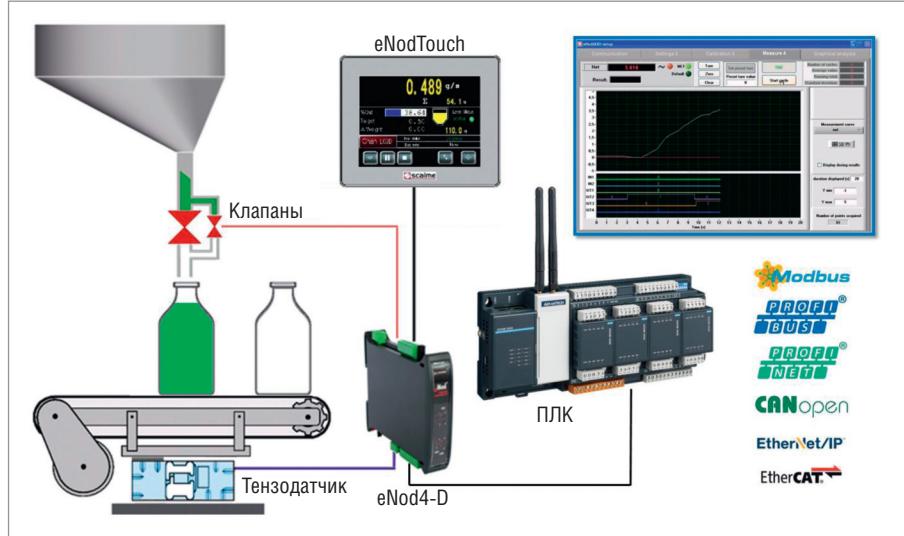


Рис. 4. Типовая схема подключения преобразователя-контроллера SCAIME на примере системы дозирования на базе модели серии eNod4-D

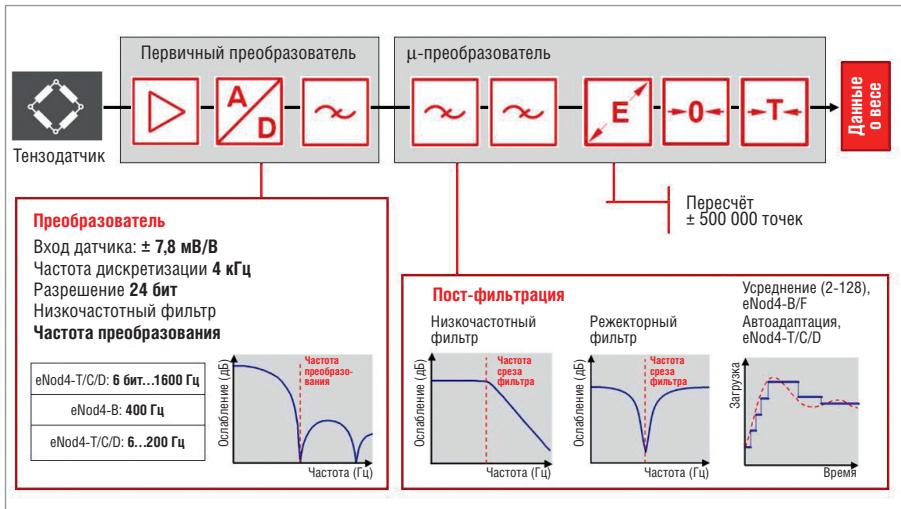


Рис. 5. Этапы обработки весоизмерительного сигнала преобразователем-контроллером eNod4

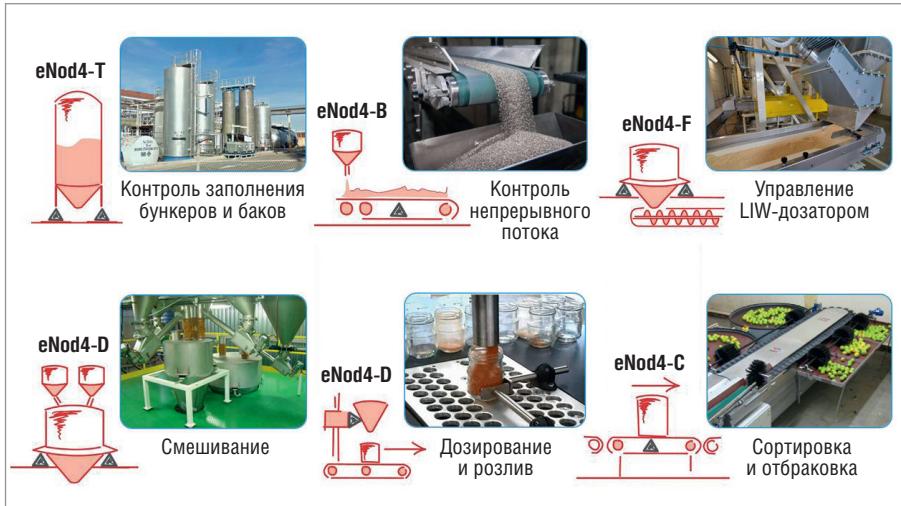


Рис. 6. Пять серий преобразователей-контроллеров SCAIME семейства eNod4 и решаемые ими типовые задачи динамического взвешивания

печивается встроенными функциями для решения типовых задач (рис. 6). Семейство eNod4 включает пять серий:

- eNod4-T – контроль заполнения/разгрузки резервуаров,

- eNod4-C – управление полным циклом контрольного взвешивания/сортировки/отбраковки,
- eNod4-D – управление полным циклом дозирования/роздива/фасовки,

- eNod4-B – управление потоком сыпучего сырья на ленточном конвейере,
- eNod4-F – управление подающим дозатором типа Loss-in-Weight (по убыли массы).

В каждой серии выпускаются модели с поддержкой различных промышленных протоколов передачи данных, таких как CANopen, Modbus-RTU, PROFIBUS DP, Modbus-TCP, Ethernet/IP, Profinet, EtherCAT.

Немаловажно, что устройства eNod4 предоставляют пользователю свободный доступ для настройки, обработки данных и управления любым удобным способом: через ПЛК, с помощью специальной операторской панели eNodTouch, с помощью программного обеспечения eNodView, установленного на ПК. Для моделей с поддержкой сети Ethernet с 2017 года также становится доступен вариант управления контроллером через веб-интерфейс.

Гибкие коммуникационные возможности контроллеров семейства eNod4 позволяют объединять устройства с различными функциями в комплексное решение, а также сочетать централизованное управление с локальным операторским контролем (рис. 7).

Устройства поддерживают работу с 4- и 6-проводными тензодатчиками (непосредственно к преобразователю-контроллеру может быть подключен один датчик или до 8 датчиков через объединительную коробку), они предварительно откалиброваны и обеспечивают для сигнала 2 мВ/В диапазон измерения 500 000 интервалов. Каждый контроллер имеет два настраиваемых оптоизолированных входа для внешнего запуска команд взвешивания (тарировка, установка нуля и др.) или команд по управлению процессом, а также четыре конфигурируемых релейных выхода для управления процессом, сигнализации и т.п. В моделях с опцией IO+ реализовано два дополнительных цифровых входа, логический оптоизолированный вход для датчика скорости конвейера, выход питания для датчика скорости конвейера и настраиваемый аналоговый выход.

### Гибкая функциональность для типовых задач

В качестве примера рассмотрим работу одной из серий контроллеров eNod4 подробнее. Речь пойдет об устройствах серии eNod4-D, которые, как было отмечено, решают задачу управления полным циклом дозирования при розливе,

фасовке или смешивании жидких или сыпучих материалов. Процедуры дозирования – неотъемлемые составляющие технологических процессов в непрерывном производстве. Дозирование может осуществляться как весовым, так и объёмным способом, однако принцип дозирования по объёму имеет ряд ограничений. Это и недостаточная для многих задач точность, и неприменимость к сыпучим материалам неоднородной плотности и гранулированным материалам. Поэтому для задач высокоточного дозирования и для дозирования сыпучих материалов применяется весовое дозирование.

Функциональность контроллеров SCAIME серии eNod4-D включает полное управление циклом дозирования одного продукта, осуществляяемого путём заполнения или разгрузки ёмкости, и позволяет проектировать сложные многокомпонентные системы дозирования. В процессе дозирования контролируется состояние клапанов одной, двух или трёх питающих трубок разной производительности, причём последовательность работы этих клапанов может настраиваться. Например, в начале цикла дозирования одновременно открываются клапаны грубого и точного дозирования, а при достижении определённого веса клапан грубого дозирования закрывается и процесс завершается с помощью точного клапана (рис. 8). Кроме того, контроллер eNod4-D обеспечивает такие функции, как контроль допусков заполнения, коррекция уровня заполнения на лету, автоматический или ручной запуск, контроль опорожнения ёмкости и наличия тары. При этом высокая точность дозирования достигается даже без стабилизации веса (рис. 9), что особенно важно для ротационных машин розлива.

Другие серии весовых преобразователей-контроллеров семейства eNod4 не менее востребованы в автоматизации. Контроллеры серии eNod4-C способны значительно упростить процесс автоматической сортировки таких объектов, как фрукты и овощи, тушки птицы, почтовые отправления и др., благодаря быстродействию и возможности непосредственного управления исполнительным механизмом сортировочного устройства.

Контроллеры серии eNod4-B и eNod4-F отвечают за автоматизацию процессов непрерывного взвешивания. Модели серии eNod4-B обеспечивают контроль потока любого сыпучего

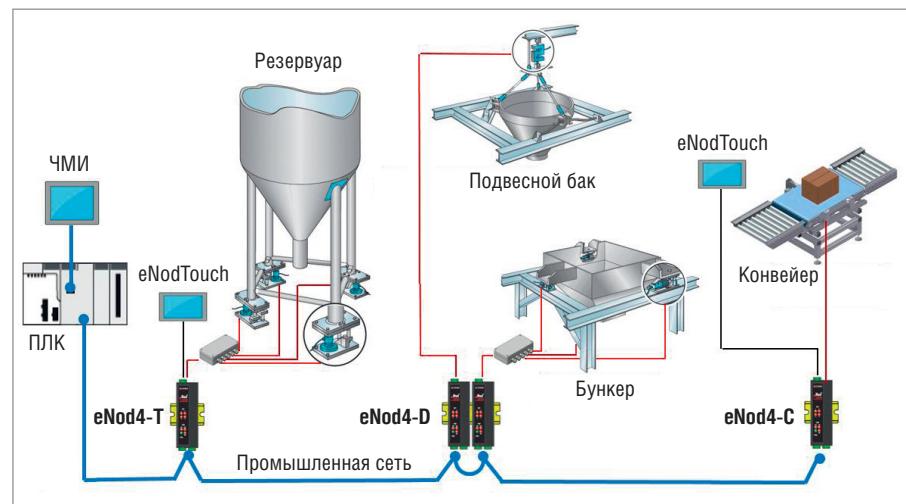


Рис. 7. Пример единой архитектуры весоизмерительных систем на базе преобразователей-контроллеров eNod4

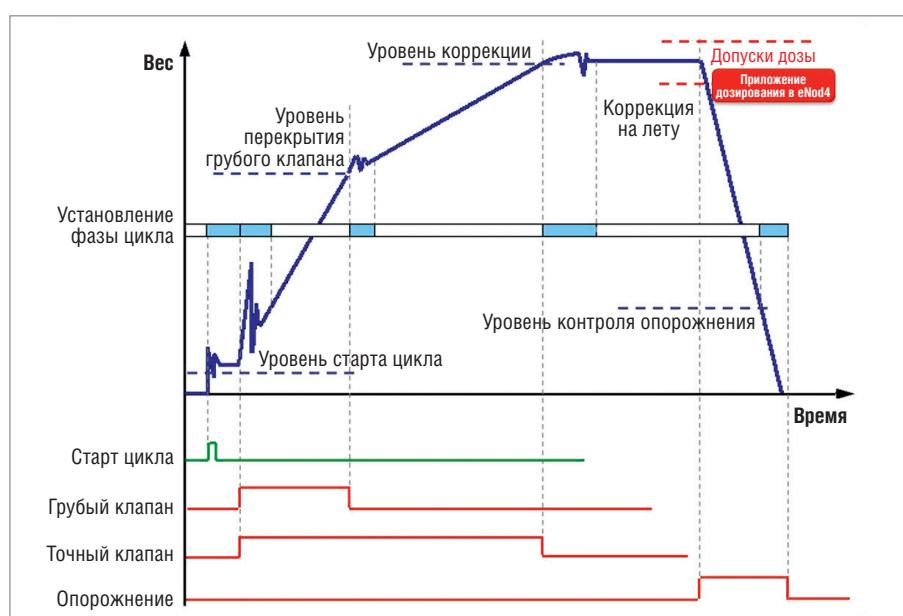


Рис. 8. Диаграмма, иллюстрирующая пример алгоритма работы контроллера eNod4-D для задачи дозирования с помощью двух клапанов

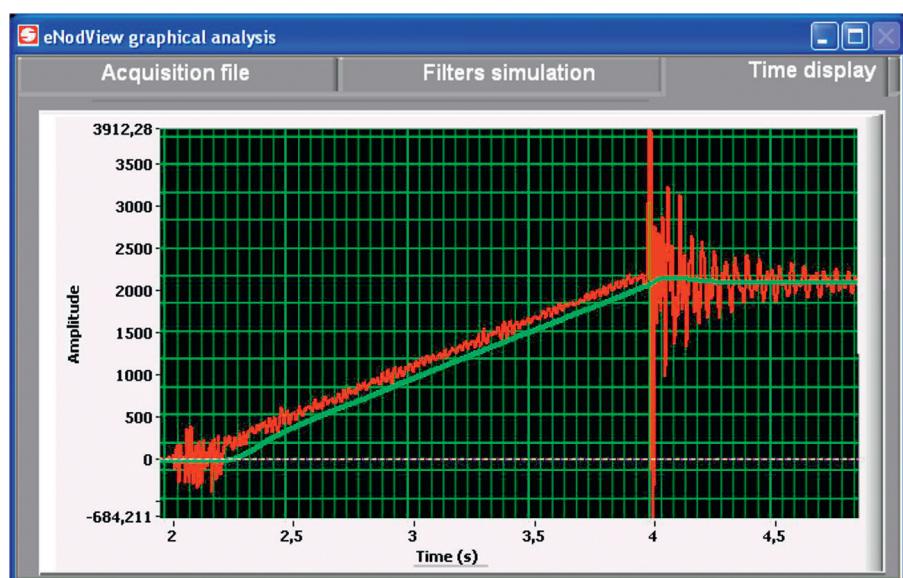


Рис. 9. Результат фильтрации измерительного сигнала, компенсирующей помехи от вибрации при динамическом взвешивании (копия экрана из модуля настройки параметров фильтрации ПО eNodView)

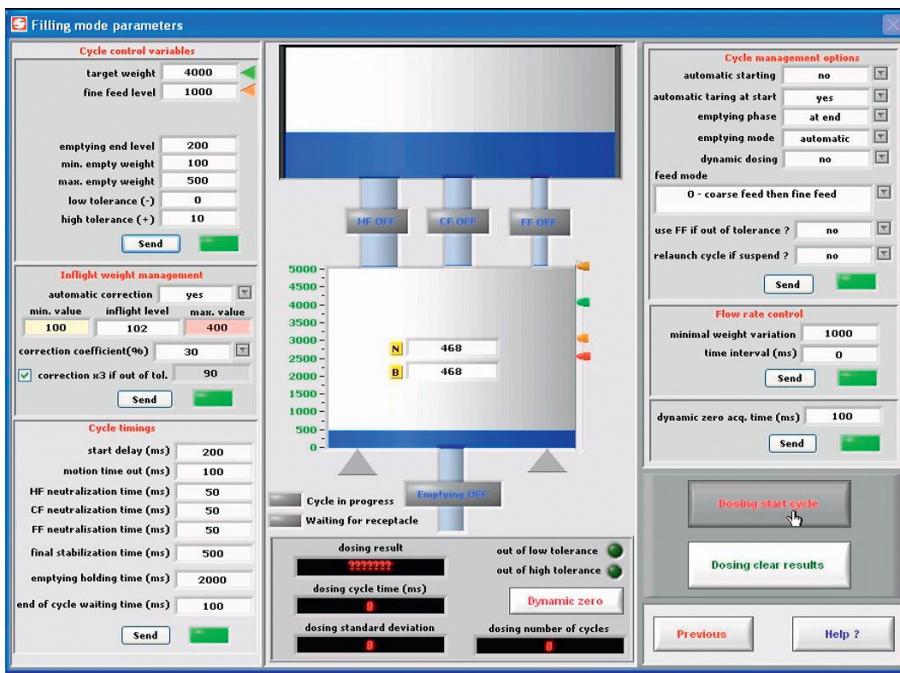


Рис. 10. Экранная форма установки параметров и контроля процесса в реальном времени (на примере задачи дозирования из ПО eNodView)

сырья (руда, уголь, гравий, песок, торф, минеральное удобрение, зерно, порошки и пр.), транспортируемого с помощью ленточного конвейера. Функциональность контроллеров включает настраиваемый ПИД-регулятор, интеграцию веса сырья на единицу длины, контроль и корректировку скорости движения ленты, управление расходом сырья и сигнализацию по заданным условиям, пересчёт различных единиц измерения скорости потока.

Контроллер eNod4-F специально разработан для систем подачи сырья по убыли массы (дозаторы типа Loss-in-Weight). Как правило, наполнение промежуточной ёмкости в таких системах осуществляется путём грубого объёмного дозирования, а строго дозированная подача сырья на конвейер обеспечивается непрерывным взвешиванием промежуточного дозатора по мере его разгрузки. Контроллер eNod4-F с настраиваемым ПИД-регулятором позволяет реализовать автоматическое управление весоизмерительной фазой дозирования и фазой наполнения питателя, контролировать и корректировать скорость потока подаваемого сырья, использовать настраиваемую сигнализацию.

И, наконец, несколько слов о преобразователях серии eNod4-T. Эти устройства предназначены для широкого круга весоизмерительных задач, не требующих непосредственного управления исполнительным устройством в зависимости от измеренных значений веса. При этом они обладают всеми преиму-

ществами устройств семейства eNod4, такими как поддержка стандартных промышленных протоколов, простота интеграции в АСУ ТП, возможность организации автономной системы, контроль и настройка различными способами.

### Масштабируемость и интеграция с верхним уровнем АСУ ТП

Ещё одно важное свойство устройств SCAIME eNod4 – масштабируемость весоизмерительной системы на их основе. Несколько преобразователей-контроллеров, решая разные задачи, могут быть легко объединены в общую сеть. Модели с поддержкой Ethernet имеют встроенный коммутатор и концентратор и оснащены двумя сетевыми портами. Это позволяет использовать при объединении контроллеров канальные протоколы DLR, MRP или RSTP и различные варианты топологии сети – цепочка, звезда или кольцо.

Независимо от того, подключён ли контроллер eNod4 к ПЛК или работает автономно, он также может быть подключён к специализированной операторской панели серии eNodTouch (рис. 5). Связь с операторской панелью реализована через порт RS-485 по протоколу Modbus-RTU. При использовании многоканальных моделей eNodTouch возможно одновременное подключение до 6 устройств eNod4 к одной операторской панели. Среди функций eNodTouch – отображение результатов взвешивания, отправка управляющих

команд на eNod4, конфигурирование, калибровка и др.

Ещё один способ «диалога» с весоизмерительными контроллерами SCAIME – использование ПК (рабочей станции или ноутбука) с установленным программным обеспечением eNodView, представляющим собой единый инструмент для настройки и управления любым устройством семейства eNod4. Для подключения к компьютеру в каждом контроллере предусмотрен USB-порт. Программное обеспечение eNodView разработано для ОС Windows и позволяет производить калибровку весового преобразователя, настройку параметров фильтрации сигналов тензодатчиков и моделирование фильтров, устанавливать индивидуальные параметры дозирования, а также в наглядной графической форме контролировать процесс весоизмерений и состояние цифровых входов-выходов в реальном масштабе времени (рис. 10).

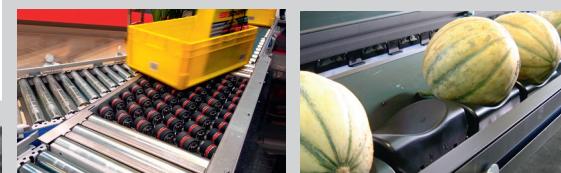
## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За время существования на рынке весоизмерительные решения SCAIME выдержали множество успешных внедрений и доказали свою эффективность и надёжность. Результатом внедрения интеллектуальных систем динамического весового контроля на производстве становится увеличение производительности технологических линий, повышение качества продукции, снижение эксплуатационных затрат и улучшение целевых показателей. При этом важными преимуществами специализированных весовых контроллеров становятся сокращение затрат на разработку весоизмерительных систем и гибкость внедрения за счёт оптимального сочетания модульности и универсальности. Немаловажно, что интеграция данных от весоизмерительных систем в АСУ предприятия даёт возможность строгого учёта и планирования материальных запасов. ●

## ЛИТЕРАТУРА

- Швецов Д., Бабушкина Л. Как Интернет вещей изменит промышленность? Первые шаги к воплощению идеи IoT // Connect. – 2016. – № 3.
- Лобадецкий О., Ордуе К. Системы измерения для промышленности // Современные технологии автоматизации. – 2014. – № 1.

**Автор – сотрудник  
фирмы ПРОСОФТ  
Телефон: (495) 234-0636  
E-mail: info@prosoft.ru**



## Весоизмерения в основе качества

Преобразователи-контроллеры eNod4  
для динамических и непрерывных процессов

- Настраиваемые цифровые фильтры
- Вход для тензодатчиков
- 500 000 интервалов для сигнала 2 мВ/В
- 2 изолированных цифровых входа
- 4 конфигурируемых релейных выхода
- 2 дополнительных цифровых выхода
- Логический изолированный вход
- Настраиваемый аналоговый выход
- Выход питания
- Порт RS-485 для HMI
- Порт RS-485 или CAN для ПЛК
- USB-порт для ПК
- Встроенный коммутатор и концентратор
- 2 Ethernet-порта
- Встроенный web-сервер
- Крепление на DIN-рейку



### ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ SCAIME

МОСКВА	Тел.: (495) 234-0636 • Факс: (495) 234-0640 • <a href="mailto:info@prosoft.ru">info@prosoft.ru</a> • <a href="http://www.prosoft.ru">www.prosoft.ru</a>
С.-ПЕТЕРБУРГ	Тел.: (812) 448-0444 • Факс: (812) 448-0339 • <a href="mailto:info@spb.prosoft.ru">info@spb.prosoft.ru</a> • <a href="http://www.prosoft.ru">www.prosoft.ru</a>
АЛМА-АТА	Тел.: (727) 220-7140/7141 • <a href="mailto:sales@kz.prosoft.ru">sales@kz.prosoft.ru</a> • <a href="http://www.prosoft-kz.com">www.prosoft-kz.com</a>
ВОЛГОГРАД	Тел.: (8442) 260-048 • <a href="mailto:volgograd@prosoft.ru">volgograd@prosoft.ru</a> • <a href="http://www.prosoft.ru">www.prosoft.ru</a>
ЕКАТЕРИНБУРГ	Тел.: (343) 376-2820; 356-5111 • Факс: (343) 310-0106 • <a href="mailto:info@prosoftsystems.ru">info@prosoftsystems.ru</a> • <a href="http://www.prosoftsystems.ru">www.prosoftsystems.ru</a>
КАЗАНЬ	Тел.: (843) 203-6020 • Факс: (843) 203-6020 • <a href="mailto:info@kzn.prosoft.ru">info@kzn.prosoft.ru</a> • <a href="http://www.prosoft.ru">www.prosoft.ru</a>
КРАСНОДАР	Тел.: (861) 224-9513 • Факс: (861) 224-9513 • <a href="mailto:krasnadar@prosoft.ru">krasnadar@prosoft.ru</a> • <a href="http://www.prosoft.ru">www.prosoft.ru</a>
Н. НОВГОРОД	Тел.: (831) 215-4084 • <a href="mailto:pnnovgorod@prosoft.ru">pnnovgorod@prosoft.ru</a> • <a href="http://www.prosoft.ru">www.prosoft.ru</a>
НОВОСИБИРСК	Тел.: (383) 202-0960; 335-7001/7002 • Факс: (383) 230-2729 • <a href="mailto:info@nsk.prosoft.ru">info@nsk.prosoft.ru</a> • <a href="http://www.prosoft.ru">www.prosoft.ru</a>
ОМСК	Тел.: (3812) 286-521 • Факс: (3812) 315-294 • <a href="mailto:omsk@prosoft.ru">omsk@prosoft.ru</a> • <a href="http://www.prosoft.ru">www.prosoft.ru</a>
ПЕНЗА	Тел.: (8412) 494-971 • Факс: (8412) 494-971 • <a href="mailto:penza@prosoft.ru">penza@prosoft.ru</a> • <a href="http://www.prosoft.ru">www.prosoft.ru</a>
САМАРА	Тел.: (846) 277-9166 • Факс: (846) 277-9165 • <a href="mailto:info@samara.prosoft.ru">info@samara.prosoft.ru</a> • <a href="http://www.prosoft.ru">www.prosoft.ru</a>
УФА	Тел.: (347) 292-5216/5217 • Факс: (347) 292-5218 • <a href="mailto:info@ufa.prosoft.ru">info@ufa.prosoft.ru</a> • <a href="http://www.prosoft.ru">www.prosoft.ru</a>
ЧЕЛЯБИНСК	Тел.: (351) 239-9360 • <a href="mailto:chelyabinsk@prosoft.ru">chelyabinsk@prosoft.ru</a> • <a href="http://www.prosoft.ru">www.prosoft.ru</a>