Нефтегазовое дело. 2021. Т. 19, № 5. С. 183–195. ISSN 2073-0128 (print)

Petroleum Engineering. 2021. Vol. 19, No. 5, P. 183–195. ISSN 2073-0128 (print)

Научная статья

УДК 517.4

doi: 10.17122/ngdelo-2021-5-183-195

РАЗРАБОТКА КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕСА ТРУБЫ НА ПОТОЧНОЙ ЛИНИИ НА РАННИХ ЭТАПАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Агиль Гамид оглу Гусейнов¹, Натиг Гасан оглу Талыбов¹,
Афет Судейф гызы Гусейнова¹, Камиль Кавус оглу Эййубов¹

¹Сумгаитский государственный университет, г. Сумгаит, Азербайджанская республика

Автор, ответственный за переписку

Агиль Гамид оглу Гусейнов, aqil.55@mail.ru

Аннотация. В статье исследуется технологический процесс проката труб и изучается современное состояние определения веса трубы. С целью автоматизации технологического процесса разрабатывается концептуальная модель процесса её производства. Для этого решаются задачи автоматизированного проектирования устройства определения веса трубы, а путем использования программных систем AUTOCAD определяется общий вид технологического процесса и приемника. С применением сетей Петри разрабатывается имитационная модель технологического процесса, и проводятся эксперименты.

Ключевые слова

концептуальная модель,
поточная линия,
производство труб, приёмник,
система управления, сеть Петри

Для цитирования

Гусейнов А.Г., Талыбов Н.Г., Гусейнова А.С., Эййубов К.К. Разработка концептуальной модели технологического процесса определения веса трубы на поточной линии на ранних этапах проектирования // Нефтегазовое дело. 2021. Т. 19, № 5. С. 183–195 <https://doi.org/10.17122/ngdelo-2021-5-183-195>.

Original article

DEVELOPMENT OF A CONCEPTUAL MODEL OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF DETERMINING THE PIPE WEIGHT ON THE FLOW LINE AT EARLY STAGES OF DESIGN

Agil H. Huseynov¹, Natiq H. Talibov¹, Afet S. Huseynova¹, Kamil K. Eyyubov¹

¹Sumgait State University, Sumgait, Azerbaijan Republic

Corresponding author

Agil H. Huseynov, aqil.55@mail.ru

Abstract. The article examines the technological process of laying pipes and provides a comparative analysis of the current state of the issue of determining the weight of the pipe in the production of ferrous metallurgy. In order to automate the technological process, a conceptual model of the pipe production process is being developed. The issues of computer-aided design of the device for determining the weight of the pipe, creating the layout of this technological process and receiving the billet of the AUTOCAD design software system are solved. With the use of Petri nets, a simulation model of the technological process is developed and computer experiments are conducted.

Keyword

conceptual model, flow line,
pipe production, receiver,
control system, Petri net

For citation

Huseynov A.G., Talibov N.G., Huseynova A.S., Eyyubov K.K. Razrabotka kontseptual'noi modeli tekhnologicheskogo protsessa opredeleniya vesa truby na potочноi linii na rannikh etapakh proektirovaniya [Development of a Conceptual Model of the Technological Process of Determining the Pipe Weight on the Flow Line at Early Stages of Design]. *Neftegazovoe delo – Petroleum Engineering*, 2021, Vol. 19, No. 5, pp. 183–195 [in Russian]. <https://doi.org/10.17122/ngdelo-2021-5-183-195>.

Целью концептуального проектирования технических систем является разработка концептуальной модели исследуемого объекта (предметной области) на начальном этапе проектирования проведением экспериментов с применением различных программных систем [1–3]. Под концептуальной моделью понимается графическое изображение на компьютере реального объекта, проектирование которого планируется. На нем с применением различных способов и алгоритмов проводятся различные эксперименты для проверки предусмотренных условий [4]. В это время широко используются способы и средства системы автоматизированного проектирования, средства искусственного интеллекта, различные способы моделирования.

В исследовательской работе рассматривается задача построения концептуальной модели с целью разработки системы автоматизированного проектирования производства проката труб в металлургической промышленности. В частности, анализируется технологический процесс определения веса трубы на поточной линии и концептуального проектирования устройства определения веса, разрабатывается его модель. Практически технологические операции в производстве проката труб в металлургической промышленности проводятся в нижеследующей последовательности.

Болванки в виде сырья нагреваются в специальных печах до высокой температуры (1600°–1700°) и перемещаются на прокатные станы цеха посредством специальных устройств. При помощи прокатных станов болванки приобретают форму трубы, и с ними проводится операция охлаждения. Затем посредством станков устраняются имеющиеся на трубах искривления, и они передаются на поточную линию. Полученные трубы помещаются на склад как готовая продукция или же передаются на поточную линию для проведения над ними нескольких дополнительных технологических операций. В начале поточной линии концы труб нарезаются в нужном размере. После этого на обоих концах труб появляется резьба предусмотренного

размера. Это выполняется с помощью специальных станков. Для контроля над технологией производства труб на поточной линии приходится проводить различные измерительные операции. На основе проведенных исследований установлено, что в настоящее время длина каждой трубы, размеры резьбы на их концах проверяются калибрами, и эта операция проводится на контрольном столе [5, 6].

После проверки нарезанные концы труб смазывают уплотнительным маслом и в них помещаются муфты с уплотнительным кольцом. После полного закрепления муфты на конце трубы при помощи ведущих роликов она базируется и определяется её длина. По длине трубы и толщине её стенки определяется теоретический вес трубы. Следует отметить, что на поточной линии размеры труб могут изменяться. Эти изменения могут касаться как длины, так и диаметра труб. Размеры по диаметру могут быть (60, 89, 114, 127, 146) × 10⁻³ м, а по длине от 4 до 12 м. Большинство из вышеуказанных операций выполняется при участии человека. Всё это проводится в форме заполнения и разгрузки технического оборудования, выбора и подачи муфт, размещения опор, изменения размеров, установки движущихся роликов, их присоединения и разъединения и т.д.

Самым важным из измеряемых параметров в поточной линии является определение длины и веса трубы. На основе проведенных исследований было установлено, что вес труб в металлургической промышленности определяется не напрямую, а косвенными путями.

Как уже отмечалось выше, трубы вначале поступают на контрольный стол, и там измеряется их длина, и соответственно ей при помощи специальной таблицы определяется их вес.

Определение веса труб по описанному способу затрудняет регулирование производства труб, соответствующих стандартам, на технологической линии [2]. Потому что после измерения длины трубы ее вес определяется на основе толщины, соответствующей стандарту. В таком случае получается большая погрешность между реальным и теоретическим весом, что с экономической точки зрения неэф-

фективно. Следует отметить, что при определении теоретического веса происходит потеря большого количества металла. Исследования показывают, что для соответствия международным стандартам производимых труб необходимо автоматически определять реальный вес трубы на поточной линии. Поэтому целесообразно решить задачу создания и применения устройства, способного определить вес трубы на поточной линии.

С целью решения указанной проблемы разработаны ряд способов, которые применяются. Некоторые из этих способов анализируются ниже и обобщаются их недостатки.

В настоящее время большинство устройств для измерения веса состоят из сложных систем, управляемых компьютером и одновременно синхронно работающих с различными оборудованием технологических линий.

В то время как существует много видов устройств измерения веса, их правильный выбор должен сочетаться с применением новых способов автоматизации производства.

С другой стороны, возникает необходимость автоматизации устройств определения веса для осуществления высокопроизводительных технологических процессов и комплексной автоматизации производства.

Известны весы конвейерного типа LTM-1m, которые приводятся в движение посредством ленточного конвейера, и предусмотрены для непрерывного автоматического определения веса различных сыпучих грузов [7].

Существуют и другие весы конвейерного типа, например конвейерные весы KV. Назначение и применение этих весов аналогично весам LTM-1m. Однако, в отличие от последних, эти весы осуществляют процесс взвешивания не непрерывно, а периодически при непрерывном движении ленточного конвейера [8].

За последние годы начат выпуск различных моделей устройств с усовершенствованной конструкцией для измерения веса, предусмотренных для поточных линий в металлургической промышленности.

Кроме того, в металлургической промышленности существуют конвейерные ленточные весы, состоящие из четырехузлового механизма с грузоприемником и рычагами в форме Г и транспортировочной ленты, движущейся на рычагах.

Однако расположение рычагов в форме Г в направлении движения ленты приводит к до-

полнительной нагрузке передатчика, которая образуется в результате силы трения при движении грузоприемника. Так, в результате влияния силы трения рычаги в форме Г создают момент кручения относительно осей, имеющих роликовые опоры. Кроме того, конструкция с рычагами в форме Г затрудняет работу передатчика весов, так как он располагается под осью ленты передатчика в средней части грузоприемника.

При приведении существующих, но не используемых в поточной линии весов, в форму, отвечающую требованиям поточной линии, их конструкция и технология изготовления слишком усложняются, что нецелесообразно с экономической и технической точек зрения. Таким образом, трудность использования имеющихся исследуемых весов для непрерывного определения веса трубы на поточной линии состоит в следующем:

1. Устройства, предусмотренные для определения веса на поточной линии, не полностью соответствуют требованиям систем автоматического управления производством;
2. Конструкции весов, определяющих вес на поточных линиях, относительно сложны, что ограничивает их изготовление и эксплуатацию;
3. В весах, частичная автоматизация которых возможна, используемых для определения веса на поточных линиях, требуется применение большого количества передатчиков;
4. Точность определения веса и скорость существующих весов с практической точки зрения не отвечает запросам производства;
5. Весы, непосредственно используемые для определения веса труб, требуют ограничений в их длине.

Следует отметить, что некоторые элементы исследуемых устройств для определения веса не отвечают техническим требованиям современных технологий, или же производство этих элементов уже приостановлено. Если к вышеперечисленному добавить еще и высокую металлоемкость, низкую продуктивность, слабые эргономические и эстетические показатели, то можно объяснить, по каким причинам современные предприятия хотят приобрести устройства для их использования. Таким образом, становится перспективной ориентация производства на совершенно новые технологии и технические принципы.

Анализ существующих методов взвешивания, о которых упоминается в литературных

источниках [5–7] ещё раз показывает, что автоматическое определение веса труб без нарушения технологических требований на поточной линии — это одна из важных задач. Для этого является актуальной разработка нового устройства, автоматически определяющего вес трубы на поточной линии и отвечающего технологическим требованиям производства труб.

В связи с этим выдвигается задача по созданию устройства для поточной линии, которое должно обладать легкой конструкцией, простой технологией изготовления, с технологической характеристикой, отвечающей требованиям производства и позволяющей непрерывно определять вес трубы на поточной линии.

С этой целью в рассматриваемой работе концептуально рассматриваются вопросы разработки устройства для определения веса трубы, отвечающего вышеперечисленным требованиям, простого по конструкции, несложного по технологии изготовления [5, 6, 8].

Конструкция приёмника разработанного устройства приведена на рисунке 1. Концептуально приемник предлагаемого устройства состоит из чувствительных Г-образных элементов 1, его горизонтальной части 2, части посадки трубы 3, щита, прикрепленного к вертикальной части 8, осей чувствительных элементов 4, опор, на которых закреплена ось 5–6, оснований 7, пружин 10, 14, опор, на которых они закреплены 11, 21, передатчика 16, его опоры 17, части, прикрепляющей передатчик к опоре 15, части, где находится схема передатчика 20, конца, соединяющего передатчик с внешней цепью 19, винта и гайки, обеспечивающих закрепление пружин 13 и 12, основания опор пружин и передатчика 9, оси передатчика 18. Поперечное сечение чувствительного элемента — четырёхугольное. Геометрические размеры его вертикальной части должны быть больше размеров горизонтальной части. А это проводится соответственно требованию технологии. То есть, когда труба на короткое время останавливается, на чувствительном элементе выполняется операция взвешивания. После завершения операции взвешивания труба при помощи манипулятора посредством специального привода перемещается на поточную линию. Для работы манипулятора важно, чтобы между горизонтальными частями чувствительного элемента были опре-

деленные промежутки. Отличие широкой части чувствительного элемента от его узкой части в том, что она на 5–6 см больше рычага манипулятора, освобождающего трубу от приёмника. Чувствительные элементы собраны на оси, на которой они могут свободно поворачиваться. Если труба, у которой определяется вес, не находится над чувствительным элементом, то она при помощи пружин сохраняется в равновесии.

Для обеспечения совместного поворота сбора чувствительных элементов в зависимости от веса трубы их вертикальные части жёстко скрепляются друг с другом, что выполняется посредством плоской пластины, показанной на рисунке 1. Толщина пластины небольшая (3–4 мм). Её ширина конструктивно берется равной половине вертикальной части элемента. Учитывая это, вес горизонтальной части (без трубы) мало отличается от веса вертикальной части. Таким образом, достигается увеличение чувствительности из-за веса. Так, для перпендикулярного поддерживания вертикальных частей элементов к основанию используется противодействие пружин. Эти пружины располагаются так, как показано на рисунке 1. Здесь цилиндрические, винтообразные пружины при помощи винтов размещаются между опорами и чувствительными элементами. Эти опоры же прикрепляются к пластине, на которой размещается передатчик, а пластина, в свою очередь, прикрепляется к пластине, на которой размещается приёмник [7, 8].

Передатчик, преобразующий перемещение в электрический сигнал, размещается в средней части плоской пластины, прикрепленной к опоре. В положении равновесия чувствительного элемента выходное напряжение передатчика равно нулю.

Определение веса в устройстве выполняется в следующей последовательности:

$$P_x \rightarrow Y \rightarrow X \rightarrow \Phi \rightarrow E.$$

Здесь P_x — определяемый вес, в кг; Y — расположение конца горизонтальной части чувствительного элемента в вертикальном направлении вместе с P_x ; $X = F(y)$ — перемещение вертикальной части чувствительного элемента в зависимости от Y ; Φ — магнитный поток, зависящий от X перемещения в цепи передатчика; E — изменение э.д.с. в выходной обмотке передатчика, которая зависит от магнитного потока.

Рисунок 1. Общий вид приёмника

Figure 1. General view of the receiver

Размещение приемника трубы на поточной линии показано на рисунке 2. Здесь 1 и 2 — это конвейер, движущийся вдоль технологической линии; 3 — производимая труба; 4 — приёмник устройства; 5 — место расположения трубы на приёмнике; 6 — рычаги, передающие трубу на конвейер; 7 — блок управления с микропроцессором; 8 — провода передачи, связывающие приёмник с блоком управления; 9 — место сбора труб.

Как видно из рисунка 2, производимая труба посредством конвейера 1 приводится в движение и передается на приёмник. Следует отметить, что расстояние нижней части приемника от земли находится ниже поверхности конвейера 1, по которой движется труба, поэтому движущаяся труба за счет своей инерции падает на чувствительный элемент приёмника и в этот момент определяется её вес, и она перемещается в блок 7. Сразу после окончания процесса взвешивания из блока 7 в передающий привод, расположенный под конвейером 2, передается информация, и его рычаги 6, приходя в движение, слегка приподнимают трубу и передают её на конвейер 2. Это повторяется периодически. Если на приемнике есть труба и по какой-либо причине её взвешивание запаздывает, то из блока 7 на привод конвейера 1 передается информация и останавливает его. Сразу после освобождения приемника от трубы конвейер 1 снова начинает работать, помещает трубу на приемник и процесс взвешивания продолжается. Чувствительный элемент приемника на линии определяет вес трубы, если её длина составляет от 4 до 12 м. Чувствительным элементом приемника, определяющего вес, являются жестко прикрепленные друг к другу элементы в форме Г. Они при помощи противодействующих пружин всегда держатся в параллельном к верхней поверхности конвейера положении.

Принцип работы устройства следующий. Трубы, поступающие с поточной линии, по одной падают на ту часть Г-образного чувствительного элемента, где должна размещаться труба. Г-образный чувствительный элемент разворачивается вокруг своей оси под определенным углом и пружины сжимаются. В результате сжатия в передатчике возникает перемещение, и э.д.с., полученная в соответствии с перемещением, передается в микропроцессор посредством аналого-цифрового преобразователя. В микропроцессоре проводятся преобразования, соответствующие за-

данному алгоритму, и определяется вес. Посредством манипуляторов труба, расположенная на Г-образном чувствительном элементе, передается на очередную технологическую операцию. Таким образом этот процесс последовательно продолжается.

В связи с тем, что устройство определения веса трубы на поточной линии всегда находится в динамическом режиме, его модель целесообразно получить при помощи сети Петри [9, 10].

Моделирование производственных систем с помощью сетей Петри включает 2 случая.

В первом случае в имеющихся гибких производственных системах применяется аппарат сетей Петри. Путем анализа полученной модели возможно усовершенствовать эту систему. Во втором случае аппарат сетей Петри применяется в моделировании некоторых производственных систем, считающихся абстрактными, затем модель исследуется и проверяется в производстве.

В первом случае моделирования в технологическом процессе, например, обработке болванки (заготовки) позиции Р характеризуются двумя переходами t_1 и t_2 . Здесь первый переход означает начало обработки болванки (заготовки), а второй переход — его завершение.

Во втором случае моделирования используются постоянные сети, дающие возможность поэтапного создания сети.

В зависимости от цели исследования технологический процесс можно рассматривать как отдельное явление или как несколько взаимозависимых явлений. В особых случаях требуется, чтобы анализ сети был проведен по ограничению сохранения.

Начальный вектор маркера характеризует полное состояние производственной системы до работы, а последний вектор маркера — состояние системы после завершения работы.

Как уже отмечалось, устройство, определяющее вес трубы, состоит из микропроцессорной системы управления (МСУ), устройства связи объекта ($УСО_1$, $УСО_2$, $УСО_3$), распределителя труб, автоматической транспортной системы (АТС), механизма исполнения ($МИ_1$, $МИ_2$, $МИ_3$), опоры базирования (ОБ) и передатчиков (рисунок 3).

Вес труб определяется по одной. Информация из передатчика 21, определяющего наличие трубы, поступает в микропроцессорную систему управления, пройдя через устройство связи с объектом 1. После этого,

Рисунок 2. Расположение приемников на поточной линии

Figure 2. Location of receivers on the production line

пройдя через устройство связи с объектом 2, из микропроцессорной системы управления 1 передается команда в исполнительный механизм, и одна труба автоматически поступает в транспортную систему. Затем труба входит в позицию измерения и его размещение определяется передатчиком 21. Далее для базирования трубы 2 относительно опоры базирования она проходит устройство связи с объектом, и микропроцессорная система управления 2 подает команду исполнительному механизму [5].

После завершения базирования передатчик 29 передает информацию посредством устройства связи с объектом 1 в микропроцессорную систему управления. Информация о том, что механизм определения веса находится в нижнем положении, поступает из передатчика 20. В это время подается команда по выполнению определения веса, и посредством исполнительного механизма 3 механизм измерения поднимается в верхнее положение и касается передатчика силы 20'. То, что механизм взвешивания находится в верхнем положении, подтверждается передатчиком 29'.

Информация об определении веса трубы получается из передатчика 20', которая обрабатывается в микропроцессорной системе управления, и её результат регистрируется.

Сетевая модель работы участка, показанная выше, записывается при помощи входной 1 и выходной 0 функции. На рисунке 4 показана граф-схема участка для технологического процесса определения веса трубы.

Здесь позиции: P_1 — отсутствие трубы на столе распределителя; P_2 — наличие трубы на столе распределителя; P_2' — наличие трубы на столе распределителя и остановка конвейера; P_3 — отсутствие трубы на столе автоматической транспортной системы; P_4 — наличие трубы на столе автоматической транспортной системы; P_4' — наличие трубы на столе автоматической транспортной системы и остановка автоматической транспортной системы; P_5 — отсутствие трубы на измерительном столе; P_6 — наличие трубы на измерительном столе до базирования; P_7 — наличие трубы на измерительном столе после базирования; P_7' — наличие трубы на измерительном столе и измерительный стол в конечном положении;

Рисунок 3. Схема технологического участка для определения веса трубы

Figure 3. Scheme of the technological section for pipe weight determining

Переходы	Позиции	После запуска
t_1	P_1	P_2
t_2	P_2	P_2'
t_3	P_2', P_3	P_4, P_1
t_4	P_4	P_4'
t_5	P_4', P_5	P_6
t_6	P_6	P_7, P_5
t_7	P_7	P_7'
t_8	P_7', P_8	P_9, P_8'
t_9	P_9, P_8	P_8, P_9'
t_{10}	P_9'	P_{10}
t_{11}	P_{10}	P_{11}
t_{12}	P_{11}	P_9

$I(P_1) = \{t_3\},$	$O(P_1) = \{t_1\}$	$I(P_2) = \{t_1\},$	$O(P_2) = \{t_2\}$
$I(P_2') = \{t_2\},$	$O(P_2') = \{t_3\}$	$I(P_3) = \{t_{12}\},$	$O(P_3) = \{t_3\}$
$I(P_4) = \{t_3\},$	$O(P_4) = \{t_4\}$	$I(P_4') = \{t_4\},$	$O(P_4') = \{t_5\}$
$I(P_5) = \{t_6\},$	$O(P_5) = \{t_5\}$	$I(P_6) = \{t_5\},$	$O(P_6) = \{t_6\}$
$I(P_7) = \{t_6\},$	$O(P_7) = \{t_7\}$	$I(P_7') = \{t_7\},$	$O(P_7') = \{t_8\}$
$I(P_8) = \{t_9\},$	$O(P_8) = \{t_8\}$	$I(P_8') = \{t_8\},$	$O(P_8') = \{t_9\}$
$I(P_9) = \{t_8\},$	$O(P_9) = \{t_9\}$	$I(P_9') = \{t_9\},$	$O(P_9') = \{t_{10}\}$
$I(P_{10}) = \{t_{10}\},$	$O(P_{10}) = \{t_{11}\}$	$I(P_{11}) = \{t_{11}\},$	$O(P_{11}) = \{t_{12}\}$
$I(P_2) = \{t_2\},$	$O(P_2) = \{t_3\}$	$I(P_3) = \{t_{12}\},$	$O(P_3) = \{t_3\}$
$I(t_1) = \{P_1\},$	$O(t_1) = \{P_2\}$	$I(t_2) = \{P_2'\},$	$O(t_2) = \{P_2'\}$
$I(t_3) = \{P_2', P_3\},$	$O(t_3) = \{P_4\}$	$I(t_4) = \{P_4\},$	$O(t_4) = \{P_4'\}$
$I(t_5) = \{P_4', P_5\},$	$O(t_5) = \{P_6\}$	$I(t_6) = \{P_6\},$	$O(t_6) = \{P_5, P_7\}$
$I(t_7) = \{P_7\},$	$O(t_7) = \{P_7'\}$	$I(t_8) = \{P_7, P_8\},$	$O(t_8) = \{P_8', P_9\}$
$I(t_9) = \{P_8', P_9\},$	$O(t_9) = \{P_8, P_9'\}$	$I(t_{10}) = \{P_9'\},$	$O(t_{10}) = \{P_{10}\}$
$I(t_{11}) = \{P_{10}\},$	$O(t_{11}) = \{P_{11}\}$	$I(t_{12}) = \{P_{11}\},$	$O(t_{12}) = \{P_9\}$

Рисунок 4. Граф-схема работы технологического участка для определения веса трубы

Figure 4. Flowgraph of process section for pipe weight determining

P_8 — начальное положение механизма исполнения 2; P_8' — конечное положение измерительного стола после измерения; P_9 — конечное положение механизма исполнения 2; P_9' — наличие трубы на измерительном столе после измерения; P_{10} — начальное положение механизма исполнения 3; P_{11} — конечное положение механизма исполнения 3.

Переходы: t_1 — подключение распределителя; t_2 — отключение распределителя; t_3 — подключение автоматической транспортной системы; t_4 — отключение автоматической транспортной системы; t_5 — подключение измерительного стола; t_6 — отключение измерительного стола; t_7 — подключение механизма

исполнения 1; t_8 — отключение механизма исполнения 1; t_9 — подключение механизма исполнения 2; t_{10} — отключение механизма исполнения 2; t_{11} — подключение механизма исполнения 3; t_{12} — отключение механизма исполнения 3.

Превосходство модели, полученной на основе сетей Петри, — это наглядность разьяснения технологического процесса, что легко воспринимается пользователем. Кроме того, встречающиеся в процессе работы объекта явления и условия перехода этих явлений из одного положения в другое позволяют формировать работу технологического оборудования участка в профессиональных языках, что облегчает создание базы знаний [9].

Разработанная модель упрощает алгоритм и программу управления производством и в целом позволяет повысить продуктивность участка для технологического процесса определения веса трубы.

Анализ участка определения веса трубы показывает, что микропроцессорная система управления (МСУ) состоит из двух типов программного модуля: программного модуля общего назначения и программного модуля специального назначения.

Программный модуль общего назначения в виде готового пакета считается основным программным модулем для микропроцессорной системы управления. Функциональные модули этой программы показаны на рисунке 5.

Программные модули общего назначения не зависят от характера и содержания поточной линии и в виде программного пакета служат для использования на нижнем уровне системы управления.

В отличие от программных модулей общего назначения программные модули специального назначения зависят от характера по-

точной линии, содержания и особенностей оборудования и для каждого конкретного случая создаются пользователем при помощи интерфейса. Функциональные модули этой программы показаны на рисунке 5.

Программное обеспечение специального назначения выполняет решение нижеследующих вопросов: управление с помощью программы активных элементов технологического оборудования участка; контроль над техническим состоянием элементов участка и диагностика аварийных случаев в процессе их функционирования; передача на монитор нужной информации; вхождение в диалог потребителя с системой управления в интерактивном режиме; сбор и переработка статистических данных и т.д.

Программное обеспечение микропроцессорной системы управления участка определения веса трубы составлено на основе отдельных модулей, что позволяет расширять функциональную возможность ввода или вывода в систему соответствующего программного модуля.

Рисунок 5. Структура программного обеспечения микропроцессорной системы управления

Figure 5. The structure of the software of the microprocessor control system

Микропроцессорная система управления участка определения веса трубы функционирует в двух режимах: ручное управление исполнительного механизма и автоматическое управление участка.

В режиме ручного управления исполнительным механизмом микропроцессорная система управления во время запуска участка определения веса трубы выполняет функцию консультанта. Кроме того, в этом режиме каждый элемент участка проверяется отдельно. Использование микропроцессорной системы управления в функции консультанта помогает предотвратить аварийные случаи, связанные с особенностями пневмоприводов. Следует учесть, что резкая подача в пневмоприводы сжатого воздуха, находящегося под давлением, может приводить к поломке манипуляторов и других эффектных механизмов.

После проверки оператором начального положения каждого узла микропроцессорная система управления обеспечивает подачу в систему сжатого воздуха. После анализа сенсорных информаций информация о том, что узлы находятся в начальном состоянии, поступает на экран дисплея. Не поступление подтверждающих сигналов из узлов показывает неисправность соответствующего датчика или канала связи. В этом случае оператор имеет возможность диагностировать ту или иную неисправность.

Таким образом, сжатый воздух в систему подается только в том случае, если эффективный механизм находится в начальном положении.

Ручное управление исполнительного механизма осуществляется в интерактивном режиме.

В автоматическом режиме система функционирует без оператора. Оператор может участвовать в интерактивном режиме в аварийных случаях, а также при диагностике текущего положения системы.

После этого система управления принимает информацию о текущем положении участка и подает управляющий сигнал в соответствующий исполнительный механизм.

Следует учитывать, что анализ текущего состояния участка и принятие адекватного решения по поставленной цели осуществляется с помощью скорости микропроцессора. В этом случае обеспечивается параллельная работа нескольких исполнительных механизмов в одном периоде. Начальные условия, заданные для деятельности участка, в это время не исключают друг друга. Кроме этого, действия, обеспечивающие цель в каждом периоде, выполняются в первую очередь. Следует отметить, что для достижения поставленной цели правило применяется только тогда, если оно соответствует положению. В результате этого применяется адекватное правило, соответствующее каждому положению, и в связи с неопределенной последовательностью поступления из предыдущего участка полуфабрикатов на вход участка, определяющего вес труб, количество остановок сводится к минимуму. В остальных случаях в работе участка остановок не бывает, и продуктивность участка определяется количеством труб, поступающих с предыдущего участка.

Выводы

Исследован технологический процесс проката труб и изучено современное состояние определения веса трубы. С целью автоматизации технологического процесса разработана концептуальная модель процесса её производства. Для этого решены задачи автоматизированного проектирования устройства определения веса трубы, а путем использования программных систем AUTOCAD определен общий вид технологического процесса и приемника. С применением сетей Петри разработана имитационная модель технологического процесса, и проведены эксперименты.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ефромеев Н.М., Волкова Г.Д. Основы структурного моделирования предметных задач на ранних этапах автоматизации // Вестник МГТУ «СТАНКИН». 2018. № 3 (46). С. 95-100.

2. Талыбов Н.Г., Кязимов Н.М., Халилов С.А. Расчет основных параметров чувствительного элемента при определении массы труб на поточной линии // Научные известия СГУ. 2004. № 3. С. 74-75.

3. Талыбов Н.Г., Гусейнов А.Г., Халилов С.А. Автоматизированное проектирование нестандартных механических модулей с применением интеллектуальных средств. Красноярск: Научно-инновационный центр, 2011. 179 с.

4. Huseynov A.H., Talibov H.H. Research and Methods for Increasing the Intellectual Processes of the Systematic Design of Complex Technical Systems // Journal of Qafqaz University. Mechanical and Industrial Engineering. 2016. Vol. 4. No. 1. P. 91-100.

5. Кязимов Н.М., Халилов С.А., Талыбов Н.Г. Моделирование технического процесса автоматического измерения массы трубы // Автоматизация и современные технологии. 1999. С. 22-24.

6. Кязимов Н.М., Халилов С.А., Мамедова Р.Д. Гибкий автоматизированный участок измерения длины труб // Автоматизация и современные технологии. 1997. № 1. С. 2-5.

7. Кязимов Н.М., Халилов С.А., Талыбов Н.Г. Разработка устройства, определяющего вес трубы // Научные известия СГУ. 2001. № 1. С. 71-76.

8. Кязимов Н.М., Халилов С.А., Мамедов Дж.Ф., Талыбов Н.Г. Автоматическое устройство, определяющее вес трубы на поточной линии. Национальный центр патентной экспертизы Государственного комитета науки и техники Азербайджанской Республики.

9. Гусейнов А.Г., Талыбов Н.Г. Автоматизированное проектирование нестандартных механических модулей // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2017. Вып. 1 (107). С. 143-153.

10. Талыбов Н.Г., Мустафаев В.А., Гусейнов А.Г., Салманова М.Н. Моделирование динамических взаимодействующих процессов с применением нечетких временных сетей Петри // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2017. Т. 13. № 2. С. 48-54.

REFERENCES

1. Efromeev N.M., Volkova G.D. Osnovy strukturnogo modelirovaniya predmetnykh zadach na rannikh etapakh avtomatizatsii [Fundamentals of Structural Modeling of Subject Problems in the Early Stages of Automation]. *Vestnik MGTU «STANKIN» — Vestnik MSTU «STANKIN»*, 2018, No. 3 (46), pp. 95-100. [in Russian].

2. Talybov N.G., Kyazimov N.M., Khalilov S.A. Raschet osnovnykh parametrov chuvstvitel'nogo elementa pri opredelenii massy trub na potочноi linii [Calculation of the Main Parameters of the Sensing Element when Determining the Mass of Pipes on the Production Line]. *Nauchnye izvestiya SGU — Scientific News of SSU*, 2004, No. 3, pp. 74-75. [in Russian].

3. Talybov N.G., Guseinov A.G., Khalilov S.A. Avtomatizirovannoe proektirovanie nestandardnykh mekhanicheskikh modulei s primeneniem intellektual'nykh sredstv [Computer Aided Design of Custom Mechanical

Modules Using Intelligent Tools]. Krasnoyarsk, Nauchno-innovatsionnyi tsentr Publ., 2011. 179 p. [in Russian].

4. Huseynov A.H., Talibov H.H. Research and Methods for Increasing the Intellectual Processes of the Systematic Design of Complex Technical Systems. *Journal of Qafqaz University. Mechanical and Industrial Engineering*, 2016, Vol. 4, No. 1, pp. 91-100.

5. Kyazimov N.M., Khalilov S.A., Talybov N.G. Modelirovanie tekhnicheskogo protsessa avtomaticheskogo izmereniya massy trub [Modeling the Technical Process of Automatic Measurement of Pipe Mass]. *Avtomatizatsiya i sovremennye tekhnologii — Automation and Modern Technologies*, 1999, pp. 22-24. [in Russian].

6. Kyazimov N.M., Khalilov S.A., Mamedova R.D. Gибкий avtomatizirovannyi uchastok izmereniya dliny trub [Flexible Automated Pipe Length Measuring Section]. *Avtomatizatsiya i sovremennye tekhnologii — Automation and Modern Technologies*, 1997, No. 1, pp. 2-5. [in Russian].

7. Kyazimov N.M., Khalilov S.A., Talybov N.G. Razrabotka ustroystva, opredelyayushchego ves trub [Development of a Device that Determines the Weight of the Pipe]. *Nauchnye izvestiya SGU — Scientific News of SSU*, 2001, No. 1, pp. 71-76. [in Russian].

8. Kyazimov N.M., Khalilov S.A., Mamedov Dzh.F., Talybov N.G. Avtomaticheskoe ustroystvo, opredelyayushchee ves trub na potочноi linii [Automatic Device that Determines the Weight of the Pipe on the Production Line]. *Natsional'nyi tsentr patentnoi ekspertizy Gosudarstvennogo komiteta nauki i tekhniki Azerbaidzhanskoi Respubliki*. [in Russian].

9. Guseinov A.G., Talybov N.G. Avtomatizirovannoe proektirovanie nestandardnykh mekhanicheskikh modulei [Automated Design of Non Standard Mechanical Modules]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov — Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2017, Issue 1 (107), pp. 143-153. [in Russian].

10. Talybov N.G., Mustafaev V.A., Guseinov A.G., Salmanova M.N. Modelirovanie dinamicheskikh vzaimodeistviyushchikh protsessov s primeneniem nechetkikh vremennykh setei Petri [Modeling of Dynamic Interacting Processes Using Fuzzy Timed Petri Nets]. *Elektrotekhnicheskie i informatsionnye komplekсы i sistemy — Electrical and Data Processing Facilities and Systems*, 2017, Vol. 13, No. 2, pp. 48-54. [in Russian].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Гусейнов Агиль Гамид оглу, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационные технологии и программирование», Сумгаитский государственный университет, Сумгаит, Азербайджанская Республика

Agil H. Huseynov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of Information Technologies and Programming Department, Sumgait State University, Sumgait, Azerbaijan Republic

aqil.55@mail.ru

Талыбов Нати́г Гасан оглу, кандидат технических наук, доцент, проректор, Сумгаитский государственный университет, Сумгаит, Азербайджанская Республика

Natiq H. Talibov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Vice Rector, Sumgait State University, Sumgait, Azerbaijan Republic

natiq1965@bk.ru

Гусейнова Афет Судейф гызы, кандидат технических наук, доцент кафедры информации и компьютерный техники, Сумгаитский государственный университет, Сумгаит, Азербайджанская Республика

Afet S. Huseynova, Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Information and Computer Engineering Department, Sumgait State University, Sumgait, Azerbaijan Republic

natiq1965@bk.ru

Эййубов Камил Кавус оглу, докторант, Сумгаитский государственный университет, Сумгаит, Азербайджанская Республика

Kamil K. Eyyubov, Doctorant, Sumqait State University, Sumgait, Azerbaijan Republic

aqil.55@mail.ru

Статья поступила в редакцию 31.05.2021; одобрена после рецензирования 01.07.2021; принята к публикации 03.09.2021.

The article was submitted 31.05.2021; approved after reviewing 01.07.2021; accepted for publication 03.09.2021.