

УДК 004.414.2, 004.94

Д.С. Мироненко, канд. техн. наук,
А.И. Кулябина, магистрант
ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», Украина
mironenko_ds@ukr.net

Автоматизированная ситуационная система управления и контроля процессом наплавки рабочего слоя валиками сложной формы на поверхность валков прокатных станов

В статье приведен анализ методов наплавки рабочего слоя на валки прокатных станов, произведено моделирование и реинжиниринг бизнес-процесса наплавки, разработан проект автоматизированной ситуационной системы управления и контроля процесса наплавки

Ключевые слова: наплавка, бизнес-процесс, проектирование, валок, диаграмма, ситуация, ситуационное управление, контроль

Введение

В листопрокатном цехе ЛП-4500 ПАО ММК «им. Ильича», г. Мариуполь для упрочнения прокатного валка и повышения свойств: твердости, износостойкости, жаропрочности используется дуговая наплавка рабочих поверхностей. Основополагающими факторами являются геометрические размеры и форма наплавляемого валика на поверхность рабочего слоя [1].

Для чего наплавка осуществляется с использованием наплавочного аппарата АД-231, который укомплектован механизмом поперечного колебания электрода на основе кривошипно-шатунного механизма, выполненного таким образом, что длину шатуна в процессе каждого цикла колебаний изменяют по определенному закону.

Со временем параметры механической системы изменяются. Окисляется и вырабатывается смазка, изнашиваются отдельные узлы механизма, появляются люфты. Упрочняемая деталь нагрета до достаточно высоких температур (450–500°C). За счет восходящих потоков горячего воздуха от зоны упрочнения в область механизмов перемещается мощная пылевидная фракция, формирующаяся за счет разрушения зерен защитного флюса. Это все приводит к значительным отклонениям наплавляемого слоя от предварительно заданного.

Предусмотреть значения возмущающих воздействий и совокупный характер их воздействия до процесса наплавки нельзя. Поэтому существует необходимость в управлении процессом дуговой наплавки с помощью интеллектуальной ситуационной системы управления, позволяющей производить контроль и управление процессом в режиме реального времени и адаптировать параметры процесса под изменяющиеся временные факторы [2].

Анализ имеющегося программного обеспечения

Информационные технологии постоянно интенсивно и динамично развиваются, охватывая все большее количество областей деятельности человека. Не исключением является и сварочное производство, в область которого входит наплавка. Применение информационных технологий позволяет создавать интеллектуальное сварочное оборудование и управлять сварочными процессами на основе его использования [2].

На рынке программного обеспечения представлены следующие виды специализированных программных продуктов, используемых для автоматизации сварки и наплавки [3-8]:

- программы по технологической подготовке производства (Вертикаль, ARMSW, ADEM CAM/CAPP, WeldOffice, WeldPlan);

- программы для выполнения расчетов (Weldvol, Seldcost, Weldprod, Costcop);

- программы для проектирования и решения прикладных задач в области наплавки (Preheat, Ferritprediction, Schaeffler De Long, HAZ-Calculator);

- программы для профилированной лазерной, плазменной и газовой резки (IGEMS, CUTSIM);

- экспертные и консультативные компьютерные системы (Wes, Magspert, Mig Expert, WeldPlan, Weldcare, Weldcrack Expert, Weld Assost);

- программы моделирования сварочных процессов (Grasp, Catia, Robcad, ComSol).

Проведенный анализ программного обеспечения, показал, что данные пакеты ориентированы на решение конкретного круга задач, учитывают технологические параметры определенного производственного процесса, не обладают универсальностью и, соответственно, не могут быть применены для автоматизации

наплавки рабочего слоя на валки прокатных станов.

Постановка задачи

Целью исследовательской работы является минимизация отклонений при формировании рабочего слоя валка прокатного стана заданной формы и геометрических размеров.

Для достижения поставленной цели в работе сформулированы и решаются следующие задачи:

- произвести моделирование и реинжиниринг бизнес-процесса наплавки рабочего слоя на валок прокатного стана;
- разработать проект автоматизированной системы ситуационного управления и контроля (АССУиК) процессом наплавки, учитывающей факторы, влияющие на форму и геометрические размеры наплавляемого валика и предусматривающую изменение параметров в случае нештатных ситуаций в ходе процесса;

– провести эксперименты с разработанной системой в реальных условиях.

Реинжиниринг бизнес-процессов наплавки рабочего слоя валка

Существующая технология наплавки рабочего слоя на поверхность листопрокатного стана представлена с помощью графической нотации IDEF0 [9] (рис. 1).

Входными параметрами для процесса наплавки являются: D - длина и d - диаметр валка, A - амплитуда и h - шаг колебания КШМ, $V_{нап}$ - скорость наплавки валка. Технологическая инструкция и альбом технологических карт представляет собой описание самого процесса, а так же содержат требования к сырью, материалам, технологическим процессам, процессам контроля производства, полуфабрикатам и готовой продукции. Оператор по наплавке устанавливает все входные параметры на наплавочном оборудовании в начале и производит контроль полученных результатов в конце процесса.

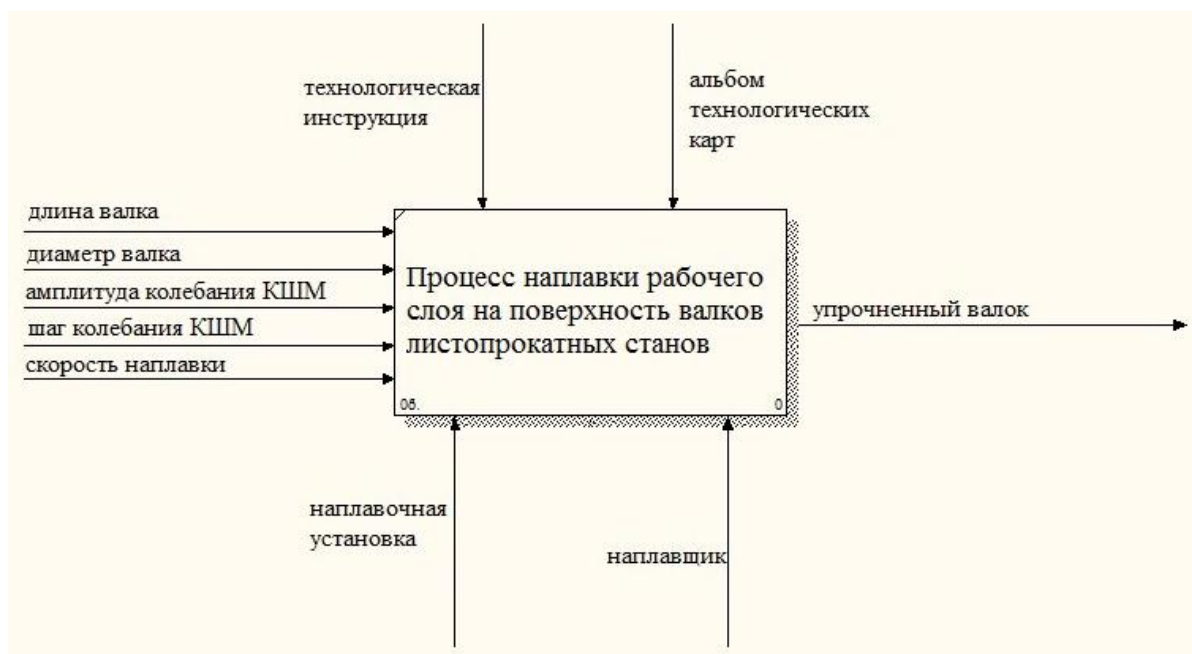


Рисунок 1 – Существующая технология наплавки

Основными недостатками такой технологии наплавки являются:

- отсутствие непрерывного контроля процесса наплавки. Это связано с тем, что оператор не может наблюдать за процессом наплавки, так как наплавка сопровождается горением дуги не приемлемой для человеческого глаза. К тому же, чтобы увидеть результат, валок должен остыть, и должна отпасть шлаковая корка;
- простой оборудования и потеря рабочего времени. Если возникла ситуация в ходе которой необходимо изменить параметры процесса, то эта

возможность появляется только если производить процесс наплавки заново;

– отсутствие возможности выбора формы наплавляемого слоя. Если длину шатуна КШМ не менять в процессе наплавки (изменение длины шатуна возможно только при наличии системы управления), то форма наплавляемого валика будет синусоидальной.

Для устранения этих недостатков необходимо усовершенствовать наплавочную установку системой управления (рис. 2-3).

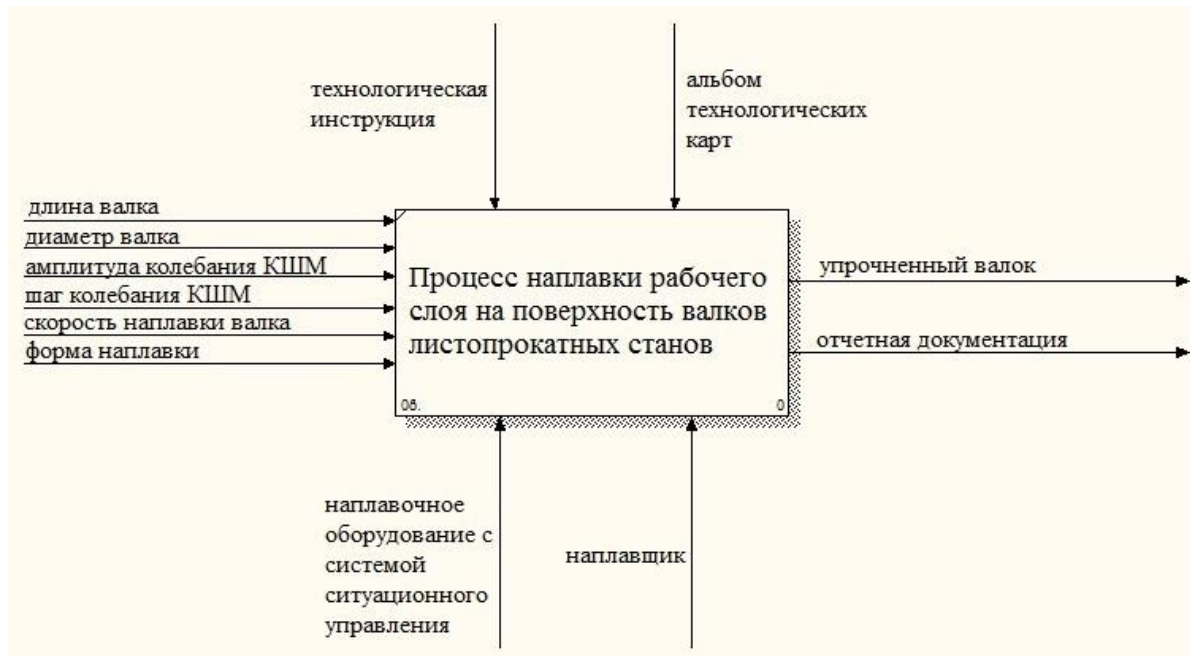


Рисунок 2 – Процесс наплавки с использованием АССУиК. Контекстная диаграмма

На рис.2 приведен процесс наплавки с использованием АССУиК. В отличие от существующей технологии наплавки (рис. 1), данный вариант позволяет перед началом процесса наплавки задать форму наплавляемых валков. Кроме того, наличие системы, в которую поступает информация с датчиков, позволяет

контролировать данный процесс и управлять им, а на выходе, формировать отчет, включающий сведения о валке, на который производилась наплавка, а так же сведения о самой наплавке. На рис. 3 приведена скорректированная функциональная схема процесса наплавки с использованием АССУиК.

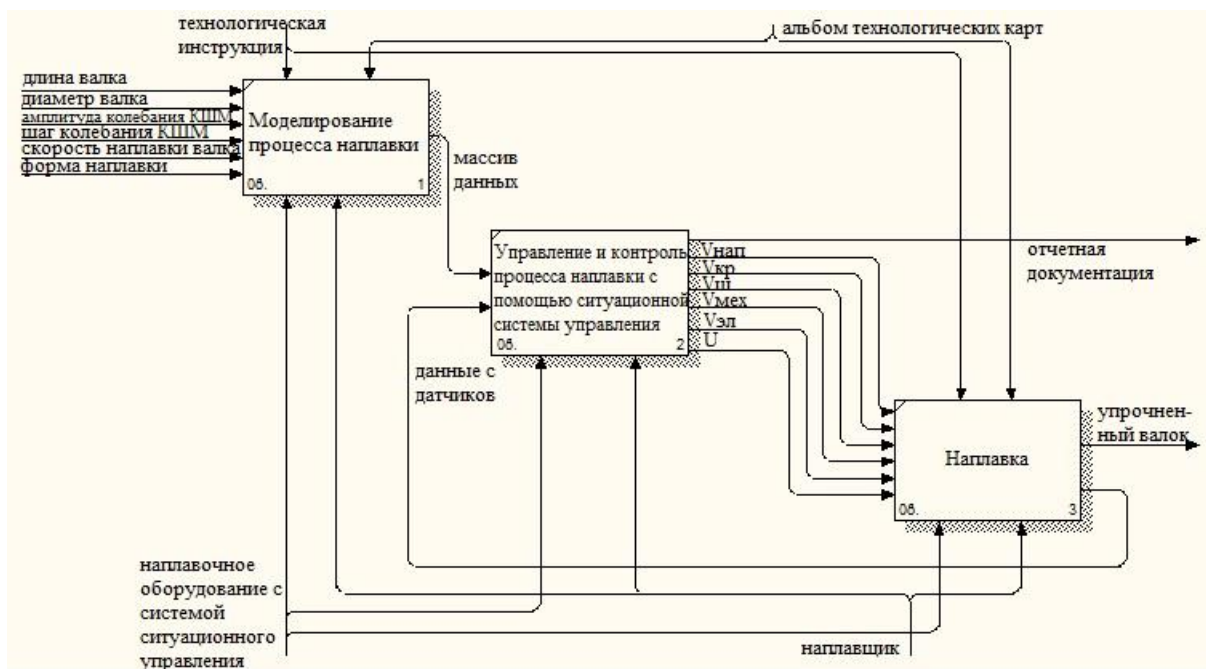


Рисунок 3 – Процесс наплавки с использованием АССУиК. Декомпозиция

Процесс наплавки включает в себя несколько основных этапов (рис. 3): моделирование, управление и контроль с использованием системы ситуационного управления и, непосредственно, наплавка.

Выходными данными моделирования является массив данных, используемый системой ситуационного управления для сравнения его с данными, полученными с датчиков и выявления отклонений. После чего система формирует план

действий, необходимых для выполнения. Этот план включает в себя управление следующими параметрами: скорость наплавки валика – $V_{нап}$, скорость вращения кривошипа – $V_{кр}$, скорость вращения двигателя, управляющего длиной шатуна – $V_{ш}$, скорость вращения двигателя механизма перемещения наплавочной установки относительно образующей бочки валика – $V_{мех}$, скорость подачи электрода – $V_{эл}$, напряжение – U .

Автоматизированная система ситуационного управления и контроля процессом наплавки

Проект АССУиК был разработан на основе объектного подхода на языке UML в среде CASE-инструмента Borland Together, который входит в состав среды Embarcadero RAD Studio XE2.

Основные требования и функциональные возможности программы представлены в виде диаграммы вариантов использования на рис. 4.

Вариант использования «Моделирование процесса наплавки» включает в себя следующие обязательные варианты «Задание входных параметров», «Задание формы слоя»,

«Формирование массива данных для процесса наплавки».

«Наплавка рабочего слоя» (рис.4) состоит из вариантов использования «Контроль процесса наплавки» и «Сохранения протокола», а так же содержит дополнительный вариант «Изменение параметров наплавки в режиме реального времени». «Контроль процесса наплавки» осуществляется за счет получения данных с датчика. «Изменение параметров наплавки происходит» в случае несоответствия данных, полученных с датчика, данным, хранящимся в БД в текущий момент времени. В протоколе сохраняются все параметры моделирования, а именно: время наступления событий, выдаваемые сообщения системы, ошибки, измененные параметры и т.д.

Вариант использования «Просмотр истории наплавки» позволяет получить информацию о предыдущих процессах наплавки, предназначен для учета основных сведений о валиках, на которые уже произведена наплавка, также содержит дополнительные функции: «Формирование отчетной документации» и «Поиск сведений по наплавке».

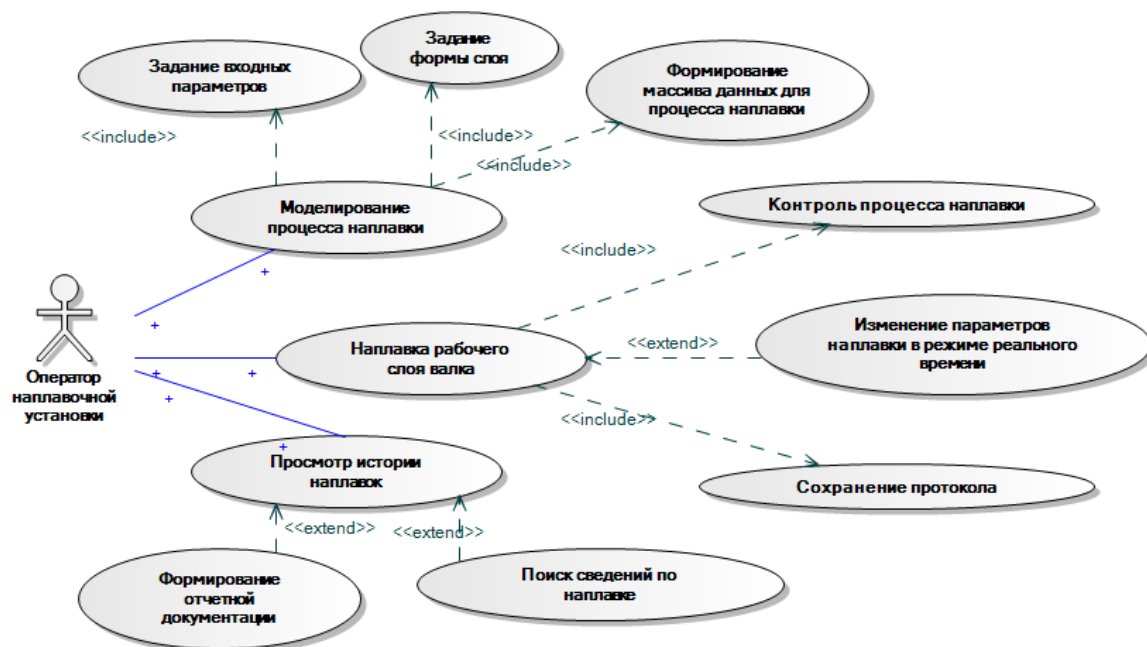


Рисунок 4 - Диаграмма вариантов использования системы АССУиК

В ходе проектирования для всех вариантов использования построены диаграммы деятельности. Например, для варианта использования «Контроль процесса наплавки» построена диаграмма деятельности (activity diagram), которая представлена на рис. 5.

Действие-состояние (Action) A_1 осуществляет проверку окончания процесса наплавки. В случае, если наплавка завершена происходит завершение деятельности (Activity)

«Контроль процесса наплавки», в противном случае происходит переход к действию A_2 .

Действие A_2 производит считывание данных с датчиков режимов процесса и датчиков позиционирования элементов наплавочного аппарата. Полученные сведения передаются на вход действия A_3 . На основе полученных данных действие A_3 формирует текущую ситуацию $S_i^{тек}$.

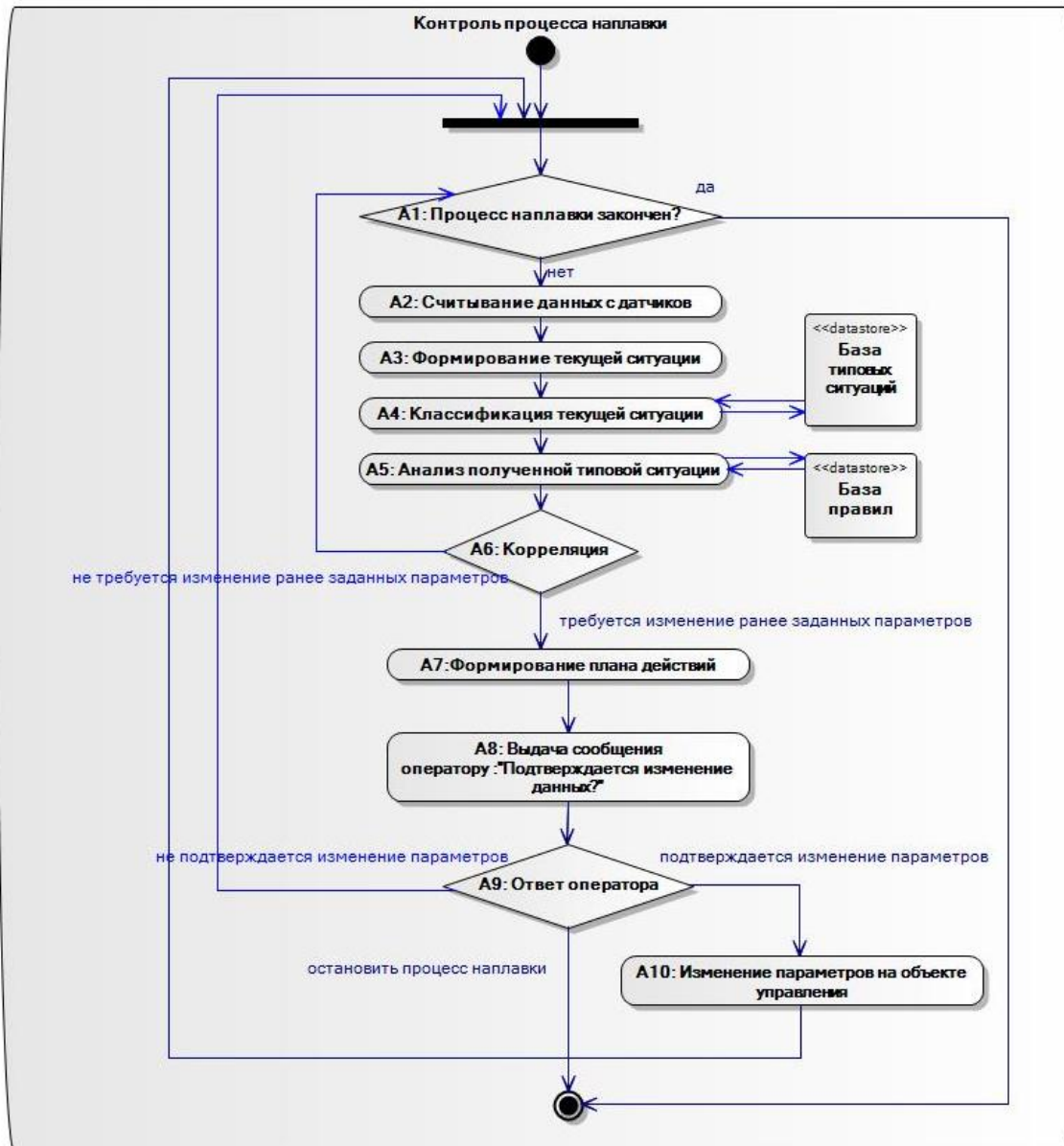


Рисунок 5 - Диаграмма деятельности варианта использования «Контроль процесса наладки»

Действие A_4 предусматривает классификацию текущей ситуации S_i^{mek} , т.е. происходит сравнение текущей ситуации S_i^{mek} с множеством типовых ситуаций $\{S_j^{mun}\}, j = 1..n$, где n – количество типовых ситуаций, хранящимися в базе типовых ситуаций, и выбор наиболее близкой типовой ситуации методом ближайшего соседа. На выходе из действия A_4 имеем типовую ситуацию S_j^{mun} .

Действие A_5 производит анализ полученной типовой ситуации, данное действие предусматривает поиск правила в базе производственных правил, в котором, если имеет место данная типовая ситуация, то необходимо

выполнить следующий перечень действий

$$\left\{ d_k^{S_j^{mun}} \right\}, k = 1..l, \text{ где } l - \text{ количество действий.}$$

Действие A_6 определяет, требуется ли изменение ранее заданных параметров. Если изменение параметров не требуется, то осуществляется переход к действию A_1 , если требуется – то к действию A_7 . Действие A_7 формирует план управляющих воздействий на объект управления (наладочный аппарат), который необходимо выполнить для уменьшения разницы между реальными данными, получаемыми с датчиков и заданными в массиве при моделировании процесса наладки.

Действие A_8 выводит сведения по сформированному перечню воздействий (план действий) и сообщение вида «Подтвердите

данные изменения в параметрах режима наплавки», которое оператор должен подтвердить или отклонить. Если оператор подтверждает изменение параметров, то действием A_{10} происходит передача измененных параметров на объект управления. Если оператор отклоняет изменение параметров наплавки, то процесс протекает согласно ранее заданным параметрам и происходит переход к действию A_1 . Так же оператор может остановить процесс наплавки. При переходе действию A_1 , проверяется окончен ли процесс наплавки. Если процесс наплавки не окончен, осуществляется переход к действию A_2 и действия повторяются.

Дадим краткие пояснения к ситуационному подходу. В общем виде ситуационный подход к управлению может быть представлен следующим выражением [10]:

$$C_i : S_i^{mek} \xrightarrow{U} S_{i+1}^{mek},$$

где S_i^{mek} – текущая ситуация; C_i – совокупность текущих ситуаций, знаний о состоянии системы управления в данный момент времени и знаний о технологии управления; U – управляющее воздействие.

Смысл этого соотношения заключается в следующем: если в ходе наплавки сложилась текущая ситуация S_i^{mek} и состояние системы управления и технологические принципы управления, определяемые C_i , допускают использование управляющего воздействия U (одношаговое решение), то оно используется и текущая ситуация превращается в S_{i+1}^{mek} .

Состояние системы характеризуется следующим набором параметров:

$$S = \{ \Delta\varphi_\theta, \Delta\varphi_\kappa, \Delta L, \Delta X, I, U, \Delta I \}$$

где $\Delta\varphi_\theta$ – отклонение угла поворота вала; $\Delta\varphi_\kappa$ – отклонение угла поворота кривошипа; ΔL – отклонение длины шатуна; ΔX – отклонение перемещения наплавочного электрода вдоль вала; I – ток; U – напряжение; ΔI – флуктуации тока.

Тогда текущая ситуация S_i^{mek} – это набор значений параметров, описывающих состояние системы в некоторый момент времени.

Множество типовых ситуаций $\{S_j^{mun}\}, j = 1..n$, где n – количество типовых ситуаций, хранится в базе типовых ситуаций. Каждая типовая ситуация S_j^{mun} – это набор значений (представленных в виде числовых интервалов) параметров, описывающих состояние системы.

Классификация текущей ситуации S_i^{mek} , т.е. ее сравнение с множеством типовых ситуаций $\{S_j^{mun}\}, j = 1..n$, где n – количество типовых ситуаций, и выбор наиболее близкой, осуществляется методом «ближайшего соседа» [11]. Суть этого метода заключается в следующем: вводится метрика (расстояние) на пространстве всех признаков, в этом пространстве определяется точка, соответствующая текущей ситуации, и в рамках этой метрики находится ближайшая к ней точка из точек, представляющих типовые ситуации. В основе метода «ближайшего соседа» лежит тот или иной способ измерения степени близости типовой ситуации и текущей. Для измерения степени близости по всем признакам выбрана формула:

$$\frac{\sum_j (w_j \cdot \text{sim}(x_{ij}, x_{kj}))}{\sum_j w_j}$$

где w_j – вес j -го признака; sim – функция подобия; x_{ij} и x_{kj} – значения признака x_j для текущей ситуации и типовой, соответственно.

После того, как наиболее близкая типовая ситуация S_j^{mun} выбрана, в базе правил находится соответствующее этой ситуации решение. Знания, хранящиеся в базе правил, представлены в виде продукционных правил: ЕСЛИ <условие А> ТО <заключение Б>.

В базе типовых ситуаций и в базе правил описано 92 ситуации и соответствующие им решения.

Физическая структура АССУиК представлена на рис.6. диаграммой компонентов (component diagram): среда моделирования, система учета, ситуационная система управления и контроля процессом наплавки, которые реализуют соответствующие подсистемы.

В состав среды моделирования для построения имитации наплавки рабочего слоя вала входят следующие компоненты: статическая база данных, динамическая база данных, драйвер моделирования.

Статическая база данных является источником информации, которая описывает и процесс и имитатор и не изменяется в ходе процесса. Примерами данных хранящихся в статической базе являются начальные условия для моделирования, описание вала, материалов, электродов (проволоки или ленты), условия окончания моделирование.

Динамическая база данных – это часть среды моделирования, которая хранит данные по модели, получаемые во время моделирования. Эта часть содержит информацию о параметрах наплавки в процессе, выполненных действиях, состоянии вала в текущий момент времени.

Здесь же сохраняются данные для расчета результатов моделирования. Примерами являются текущее время моделирования, длительности той или иной операции, время ожидания, параметры и геометрические размеры наплавленного слоя.

Драйвер моделирования отвечает за имитационную составляющую модели. В основном эта часть включает только файлы событий и часы модели. Поскольку поведение

системы определяется знанием моделирования и базами данных, всё, что остается для файла событий (протокол моделирования) – это запоминание списка предсказанных событий вместе с их временами. Генераторы, входящие в состав драйвера моделирования, сортируют список случайных событий, убирают старые события и добавляют новые

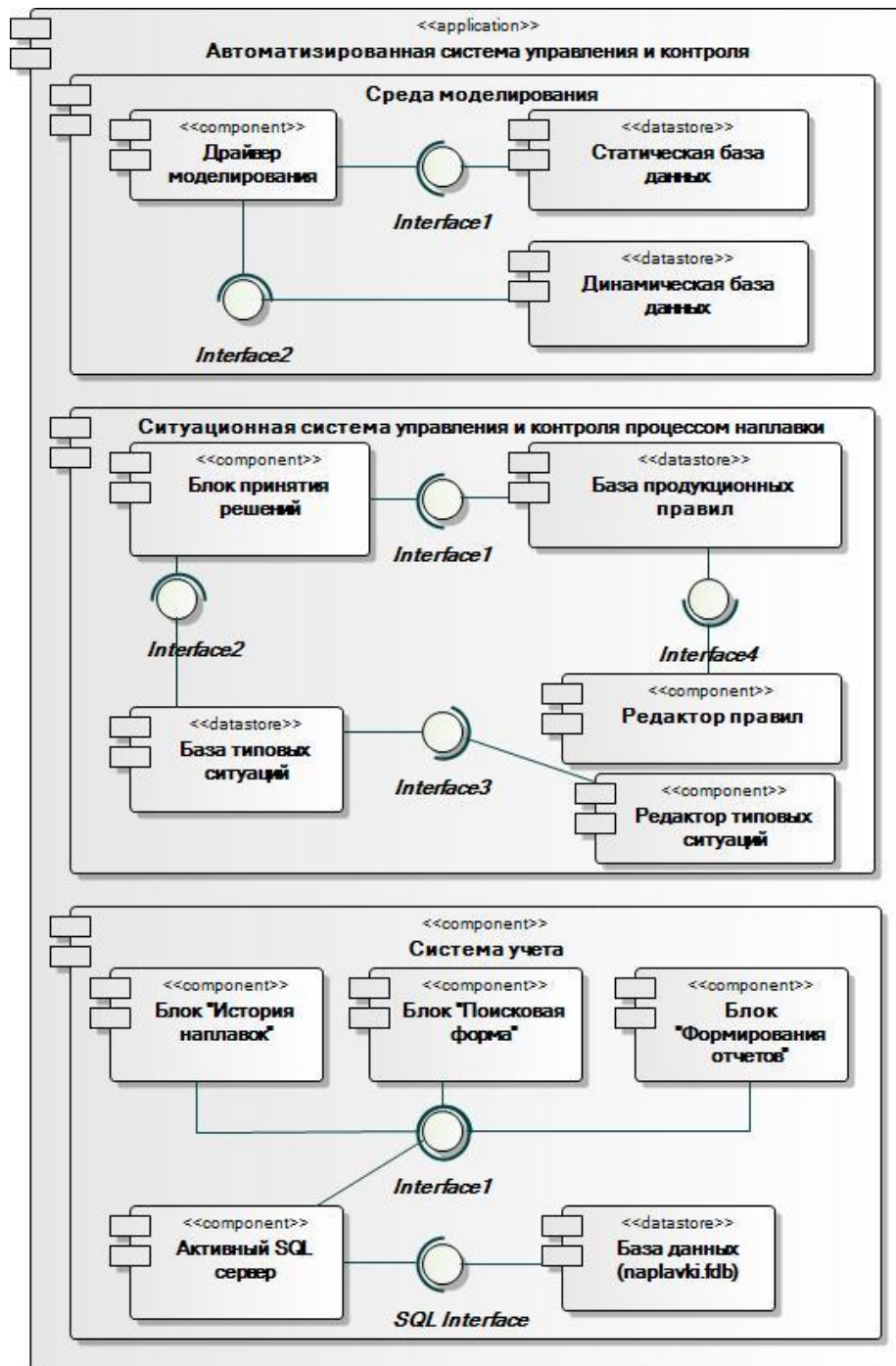


Рисунок 6 - Диаграмма компонентов АСУиК

Система учета представляет собой гомогенную двухзвенную информационную систему, с клиентскими приложениями,

работающими по технологии толстого клиента (т.е. клиентское приложение содержит в себе максимум функциональности) и предназначена

для сохранения результатов наплавки и истории обработанных валков. Клиентское приложение взаимодействует с активным сервером БД с помощью SQL запросов. В качестве активного сервера используется FireBird 2.0.

Ситуационная система управления и контроля процессом наплавки состоит из: блока принятия решений, который реализует алгоритм управления процессом наплавки (см.рис.6), базы производственных правил, базы типовых ситуаций и двух соответствующих редакторов.

АССУиК может быть установлена на одном компьютере, если установка по наплавке одна или на нескольких компьютерах, если на рабочем участке цеха представлено несколько установок, в таком случае выделяется один централизованный компьютер сервер, на котором устанавливается активный SQL сервер и база

данных, сохраняющая сведения по всем обработанным валкам. Базы производственных правил, базы типовых ситуаций, автоматизированные рабочие места операторов копируются на каждый компьютер-клиент отдельно.

Результаты исследований

В ходе эксперимента заданы следующие значения входных параметров:

- диаметр валка $d = 1$ м,
- длина валка $D = 0,9$ м,
- шаг колебания $h = 0,05$ м,
- амплитуда колебания $A = 0,05$ м,
- скорость наплавки $V_{нап} = 30$ м/ч.

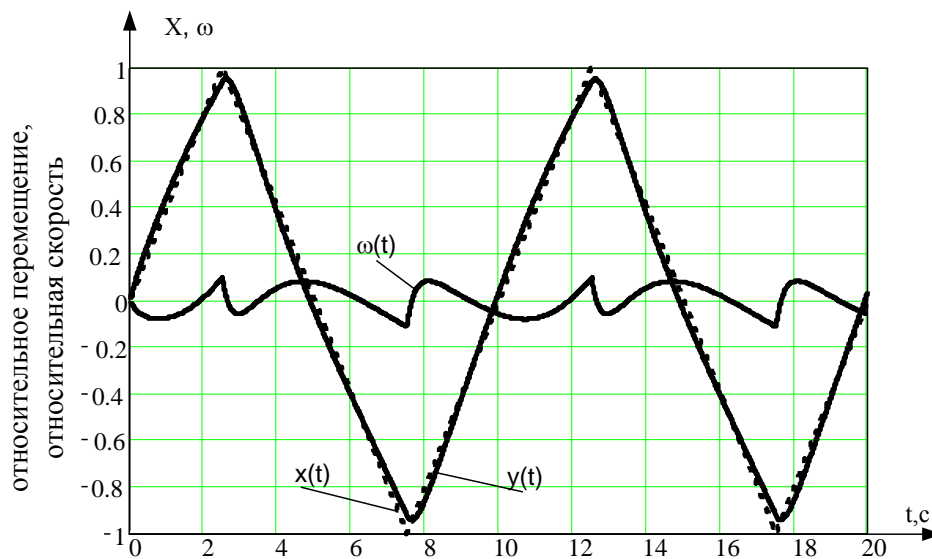


Рисунок 7 - Траектория перемещения электрода и относительная скорость вспомогательного привода: $x(t)$ – задание на перемещение (пунктирная линия); $y(t)$ – отработанное перемещение (сплошная линия); $\omega(t)$ – скорость вращения кривошипа.

На рис.7 изображены заданная траектория перемещения $x(t)$, полученная при моделировании процесса наплавки и полученная реальная траектория движения держателя электрода $y(t)$.

Исследовались соответствия векторов данных, полученных при моделировании с данным полученными в ходе управления с точки зрения истинности статистических гипотез: согласно критерию согласия Вилконсона проверялась статистическая гипотеза о том, что две выборки принадлежат одной и той же генеральной совокупности; согласно критерию согласия Стьюдента проверялась статистическая гипотеза о том, что члены выборок распределены по вероятностным законам с одинаковым математическим ожиданием; согласно критерию согласия Фишера проверялась статистическая гипотеза о том, что члены выборок распределены

по вероятностным законам с одинаковой дисперсией.

В качестве вероятности адекватности полученной реальной траектории движения держателя электрода $y(t)$ заданной траектории перемещения $x(t)$, выбрана наименьшая из вычисленных вероятностей $p=0,86$. Это показывает, что процесс управления наплавочной установкой с помощью АССУиК является адекватным заданным параметрам.

Выводы

Произведен анализ и моделирование бизнес-процесса наплавки рабочего слоя на валок прокатного стана, в ходе которого установлено, что имеется объективная необходимость в управлении данным процессом для получения более эффективных упрочнительных свойств рабочего слоя валка.

Разработан проект автоматизированной системы ситуационного управления и контроля процессом наплавки, учитывающей факторы, влияющие на форму и геометрические размеры наплавляемого валика и предусматривающую изменение параметров в случае нештатных ситуаций в ходе процесса

Проведенные эксперименты с разработанной системой в реальных условиях

показали адекватность получаемых реальных данных заданным.

Поставленная в работе цель достигнута. Процесс наплавки рабочего слоя на валки прокатного стана может быть усовершенствован за счёт использования наплавочного аппарата, управление которым необходимо осуществлять посредством автоматизированной ситуационной системы управления и контроля.

Список литературы

1. Гулаков С.В. Наплавка рабочего слоя с регламентированным распределением свойств / С.В. Гулаков, Б.И. Носовский. – Мариуполь: изд. ПГТУ, 2005. – 170 с.
2. Бадьянов Б.Н. Компьютерное управление процессами сварки / Б.Н. Бадьянов // Сварочное производство, 2002, №1. – С.19-23.
3. Holm H. Manufacturing state modeling and its application // Trends in Welding Research: Proc. of 4th Int. Conf. [5-8 June, 1995, Gatlinburg, Tennessee, 1995]. – 1995. – P. 665-676.
4. Махненко О.В. Информационные системы выбора технологических параметров для дуговой сварки / О. В. Махненко, И. И. Прудкий // «Автоматическая сварка», 2013, № 4. - С. 39-46.
5. Лазарсон Э.В. Электронные аналоги – перспективный путь совершенствования информационного обеспечения в сварочном производстве / Э.В. Лазарсон // САПР и экспертные системы в сварке: Известия Тульского гос. тех. ун-та. – Тула: Изд-во ТулГТУ, 1995. – С. 158-161.
6. Norrish J. Microcomputers in welding // Weld. and Metal Fabric. – 1993, Vol.61. – No.1. – P.47 – 52.
7. Техноцентр компьютерного инжиниринга. Программное обеспечение для эффективной организации сварочного производства. Общая характеристика и обзор [Электронный источник]. – Режим доступа: <http://cae.ustu.ru/cont/soft/welding.htm>
8. Boitout F., Mangialenti G., Bergheau J.M. The numerical simulation of welding. Description of required function. Industrial applications with the software SYSWELD+ // Computer Technology in Welding: Proc. 7th Int. Conf. [July 8-11, 1997, San. Francisco, CA]. – NIST Spec. Publ. – 1997. – No.923. – P.399-400.
9. Котлер Ф. Стратегический менеджмент по Котлеру. Лучшие приемы и методы = The Quintessence of Strategic Management: What You Really Need to Know to Survive in Business / Ф. Котлер, Р. Бергер, Н. Бикхофф — М.: Альпина Паблишер, 2012. — 144 с.
10. Поспелов Д. А. Ситуационное управление: Теория и практика / Д. А. Поспелов. — М.: Наука, 1986. — 286 с.
11. S. S. Anand, J. G. Hughes, D. A. Bell and P. Hamilton. "Utilising Censored Neighbours in Prognostication, Workshop on Prognostic Models in Medicine", Eds. Ameen Abu-Hanna and Peter Lucas, Aalborg (AIMDM'99), Denmark, pp. 15-20, 1999.
12. Барсегян А.А. Технологии анализа данных: Data Mining, Visiul Mining, OLAP / А.А. Барсегян, М.С. Куприянов, В.В. Степаненк., И.И. Холод. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 458 с.

Надійшла до редакції 10.03.2014

Д.С. МІРОНЕНКО, А.І. КУЛЯБІНА

ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

СИТУАЦІЙНЕ УПРАВЛІННЯ НАПЛАВЛЕННЯМ РОБОЧОГО ШАРУ ВАЛИКАМИ СКЛАДНОЇ ФОРМИ НА ПОВЕРХНЮ ВАЛКІВ ПРОКАТНИХ СТАНІВ

У статті наведено аналіз методів наплавлення робочого шару на валки прокатних станів, вироблено моделювання і реінжиніринг бізнес-процесу наплавлення, розроблено проект автоматизованої ситуаційної системи управління та контролю процесу наплавлення

Ключові слова: наплавлення, бізнес-процес, проектування, валок, діаграма, ситуація, ситуаційне управління, контроль

D.S. MIRONENKO, A.I. KULYABINA

Pryazovskyi State Technical University

The article is given analysis methods of surfacing working layer on mill rolls, simulated and reengineering business process of surfacing, designed automated situational control system for process surfacing

Keywords: welding, business process design, roller, chart, situation, situational management, control