

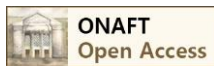
**6 ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПІДГОТОВКИ КАДРІВ В ГАЛУЗІ АВТОМАТИЗАЦІЇ  
ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ**

УДК 66-933.6:004.94

**ВИРТУАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
ОПТИМАЛЬНОГО ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ  
ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА**Павлов А.И.<sup>1</sup><sup>1</sup>Одесская национальная академия пищевых технологий, Одесса

Copyright © 2014 by author and the journal “Automation technological and business - processes”.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>DOI: [10.15673/2312-3125](https://doi.org/10.15673/2312-3125).**Аннотация**

Предложены имитационные модели, позволяющие проектировщику систем автоматического регулирования определить оптимальную величину постоянной времени исполнительного механизма.

**Abstract**

The imitation models which allow to determine the optimal value of the performing mechanism time constant for the designer of automatic regulation systems, have been offered.

**Ключевые слова**

Система автоматического регулирования, проектирование, имитационная модель, исполнительное устройство.

**Постановка проблемы**

Для проектов систем автоматического регулирования (САР) типично отсутствие в их структурных схемах звеньев, отражающих динамические свойства исполнительных устройств (ИУ). Считают, что ИУ – это безынерционное звено с коэффициентом передачи 1, и поэтому в структуре модели САР его показывать не обязательно. Можно сказать, что это характерный пример использования методологического принципа науки, известного как Бритва Оккама: «Не умножай сущностей сверх необходимого». В нем ключевыми словами являются «сверх необходимого» - нечеткие, неопределенные, размытые; слова же «не умножай сущностей» позволяют этот принцип интерпретировать как призыв к экономии мышления. Если всегда следовать только этому принципу, то это с неизбежностью ведет к застою, и – конец развитию и совершенствованию. Однако есть и принцип Амакко (анти-Оккама), который можно сформулировать так: «Для полноты описания любого явления, процесса умножай сущности». Уместно здесь отметить, что в методологии системного анализа эти два принципа – антипода получили название соответственно принципа *простоты* и принципа *полноты*.

Использование категорий типа «лучше», «хуже» по отношению к этим противоборствующим принципам – занятие пустое; отвергать какой-либо из них в пользу другого не следует: исследователь, проектировщик всегда вынужден «проплыть между Сциллой и Харибдой», найти, так сказать, «золотую середину».

Задача определения величины постоянной времени  $T_{им}$  электродвигательного исполнительного механизма (ЭИМ) является не тривиальной, а динамической, аналогичной задаче определения параметров алгоритма регулирования, поскольку она, в совокупности с параметрами регулятора и объекта регулирования определяет качество регулирования [1].

**6 ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПІДГОТОВКИ КАДРІВ В ГАЛУЗІ АВТОМАТИЗАЦІЇ  
ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ**

Кроме того, качество регулирования в САР, для которых характерно частое изменение сигнала задатчика, что очень характерно, например, для задач стабилизации соотношения двух параметров, в большой мере зависит именно от величины  $T_{им}$ .

Юрген Мюллер, сотрудник фирмы Siemens, в отношении влияния ИУ на динамику САР высказался вполне определенно [2]: «На практике часто случается, что исполнительное звено имеет самое большое влияние на общую характеристику участка регулирования, и регулятор главным образом загружен тем, что «исправляет» влияние исполнительного звена. К сожалению, при проектировании часто экономят на исполнительном звене (то есть в ложном месте), и «экономия» на аппаратуре затем многократно съедается при установке и запуске в эксплуатацию». Качество перевода оставляет желать лучшего, но смысл вполне понятен. Прислушаемся же, наконец, к этому призыву авторитетного специалиста, тем более, что со стороны технологов реальных производственных процессов требования к качеству регулирования их основных параметров растут и растут. Например, [3]: «Динамические отклонения температуры нагревания молока от заданных значений во время работы автоматической системы регулирования должны быть в пределах  $\pm 2$  °С». Такое жесткое требование вполне обосновано и исходит из необходимости повышения качества конечной продукции. И вряд ли указанная числовая величина будет окончательной. В идеале (почему бы не помечтать?) качество регулирования реальных САР должно, что называется «с запасом», удовлетворять требования технологов. А для этого надо существенно повышать качество проектирования САР.

Для конкретного объекта регулирования наиболее подходящая величина  $T_{им}$  определяется формой возмущающих воздействий, их величиной, спектральными характеристиками, местом приложения, наконец, длительностью возмущающих воздействий. Но все эти характеристики, в совокупности, обычно являются вероятностными, и проектировщику САР, как правило, не известны. Поэтому для выбора величины  $T_{им}$  необходим либо полный динамический расчет САР, либо ее имитационное моделирование. В настоящее время второй путь нахождения величины  $T_{им}$  является основным, а в практике проектирования реальных САР – единственным.

Поскольку проектирование САР немислимо без имитационного моделирования, то необходимо вопросам совершенствования моделей всех ее звеньев уделять возрастающее внимание. Повышение адекватности имитационных моделей объектов рассмотрено в [4]; именно такая модель объекта использована при разработке предлагаемого виртуального стенда проектировщика САР.

При автоматизации производственных процессов наиболее часто используются ИУ с ЭИМ, оснащенными асинхронными (реже – синхронными) электродвигателями переменного тока либо (реже) электродвигателями постоянного тока. При этом в первом случае используется традиционно импульсный сигнал управления; однако все более широко применяются и ЭИМ с непрерывным сигналом управления (0...10 В либо 2...10 В), что позволяет обеспечить пропорциональность их действия при постоянной скорости, обусловленной использованием асинхронного электродвигателя.

Существует мнение, что применение аналоговых сигналов обеспечивает более высокое качество регулирования. Так ли это всегда? И не возникнет ли при переходе от использования импульсного сигнала управления к непрерывному проблема повышения помехоустойчивости линий связи, при том, что качество регулирования (в конкретном случае технологического процесса) сколь-нибудь заметно не повысится? Следовательно, проектировщик САР должен при разработке ее имитационной модели использовать в ней несколько вариантов (минимум три) моделей ЭИМ: постоянной скорости с импульсным сигналом управления; постоянной скорости пропорционального действия с непрерывным сигналом управления; пропорциональной скорости пропорционального действия с непрерывным сигналом управления.

Желательно также рассмотреть и вариант применения пневматического исполнительного механизма (ПИМ); это тем более актуально, если на предприятии в больших объемах используется сжатый воздух.

**Основная часть**

К числу основных характеристик ЭИМ относится величина его постоянной времени  $T_{им}$ , которая обязательно должна быть указана при заказе ИУ. Ошибка в этом вопросе, как уже было отмечено выше, существенно влияет на качество регулирования и может быть причиной неработоспособности САР.

Выбрать действительно есть из чего! Изготовители ЭИМ предлагают свои изделия с величинами  $T_{им}$  (с): 4, 7, 10, 25, 35, 63, 90, 105, 120, 150, 160, 200, 300, 375. Определить наиболее подходящую (оптимальную) величину  $T_{им}$  для конкретного объекта можно только в результате имитационного моделирования САР, поочередно используя в ней модели ЭИМ трех указанных выше видов и численные значения  $T_{им}$  из приведенного ряда. Сопоставлением результатов моделирования легко определить оптимальную величину  $T_{им}$ .



## 6 ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПІДГОТОВКИ КАДРІВ В ГАЛУЗІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ

Изготовители пневматических исполнительных механизмов (ПИМ) не указывают их динамические характеристики. И этому есть причины. На динамику ПИМ существенное влияние оказывают качество смазки в узлах трения ИУ и величина затяжки сальника регулирующего органа. Поэтому динамические свойства ПИМ в процессе его эксплуатации могут меняться довольно существенно, так как воздух – сжимаемая среда.

Поскольку инерционность мембранных ПИМ в большой мере зависит от диаметра мембраны  $D_m$ , то, когда определена расчетом эта величина, можно в имитационной модели использовать, в первом приближении, такие величины параметров модели ПИМ:

$$W(p) = \frac{e^{-\tau p}}{(Tp+1)^2}.$$

$D_m$ (мм)	160	200	250	320	400	500
T (с)	0,2	0,5	1,0	2,8	6,0	17,0
$\tau$ (с)	0,1	0,2	0,5	1,4	2,0	3,0

С учетом неточности приведенных в таблице величин, рекомендуется в процессе моделирования (зная величину  $D_m$ ) проверить влияние изменения параметров T и  $\tau$  на динамику САР. Обычно даже большие эволюции параметров T и  $\tau$  таких ИМ не существенно влияют на качество регулирования. Следует также отметить, что в пищевой промышленности мембранные механизмы с  $D_m > 320$  мм применяются очень редко.

Исполнительные механизмы (ИМ) отнюдь не идеальные звенья систем регулирования. Им присущи нелинейности типа «зона нечувствительности», «люфт», «насыщение», «запаздывание» и, в особенности, неотъемлемое свойство всех материальных объектов – инерционность.

Имитационные модели ЭИМ должны отображать характер скорости (либо частоты) движения его выходного узла в зависимости от вида электродвигателя (переменного либо постоянного тока) и рода сигнала управления (импульсный либо непрерывный).

Предлагаемые имитационные модели ИМ реализованы с использованием системы программирования Kongraf для промышленных контроллеров, но могут быть реализованы и в среде MATLAB (например, MATLAB 5.2) с использованием пакетов программ Simulink.

Общая структура предлагаемого виртуального стенда приведена на рис. 1.

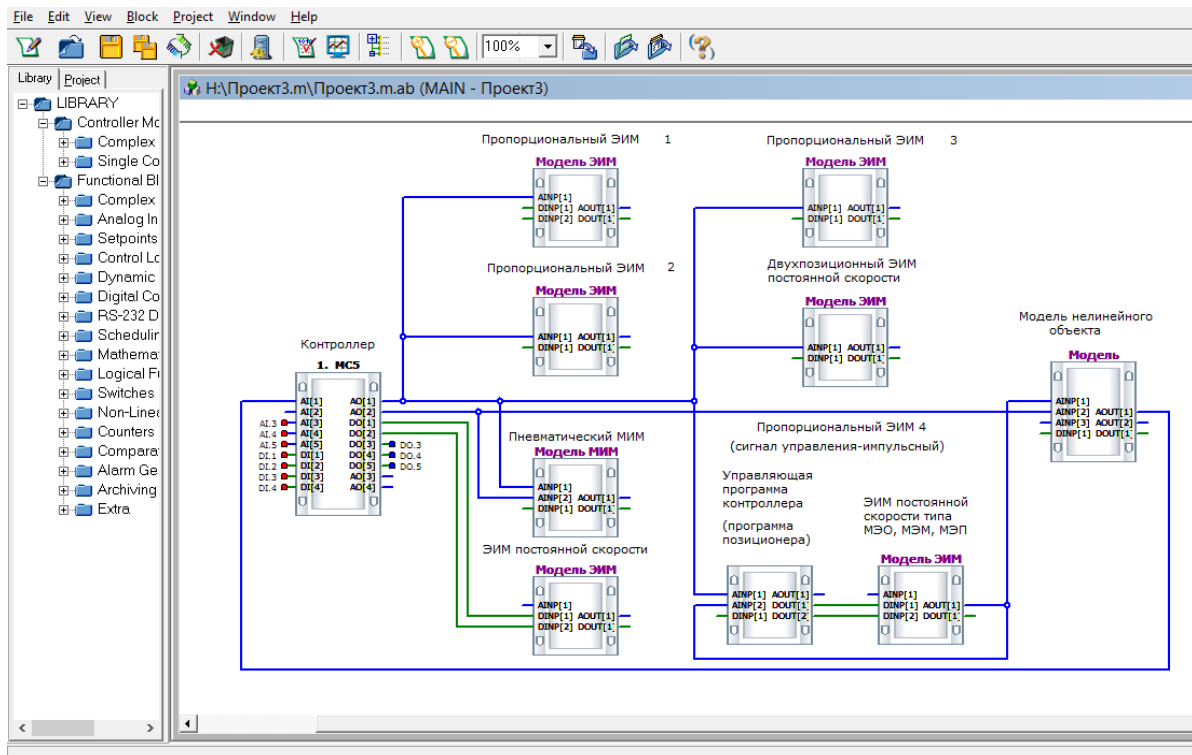


Рис. 1 – Виртуальный стенд



**6 ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПІДГОТОВКИ КАДРІВ В ГАЛУЗІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ**

Она состоит из модели объекта регулирования [4], контроллера МС5, формирующего как аналоговые, так и импульсные сигналы управления, и содержит семь имитационных моделей ИМ.

При их разработке предпочтение было отдано ЭИМ пропорционального действия (ЭИМ1, ..., ЭИМ4), которые все шире применяются в практике автоматизации.

Модель ЭИМ1 соответствует варианту, когда ИМ оснащен двигателем переменного тока с аналоговым унифицированным сигналом управления 0 ... 10 В постоянного тока (рис. 2).

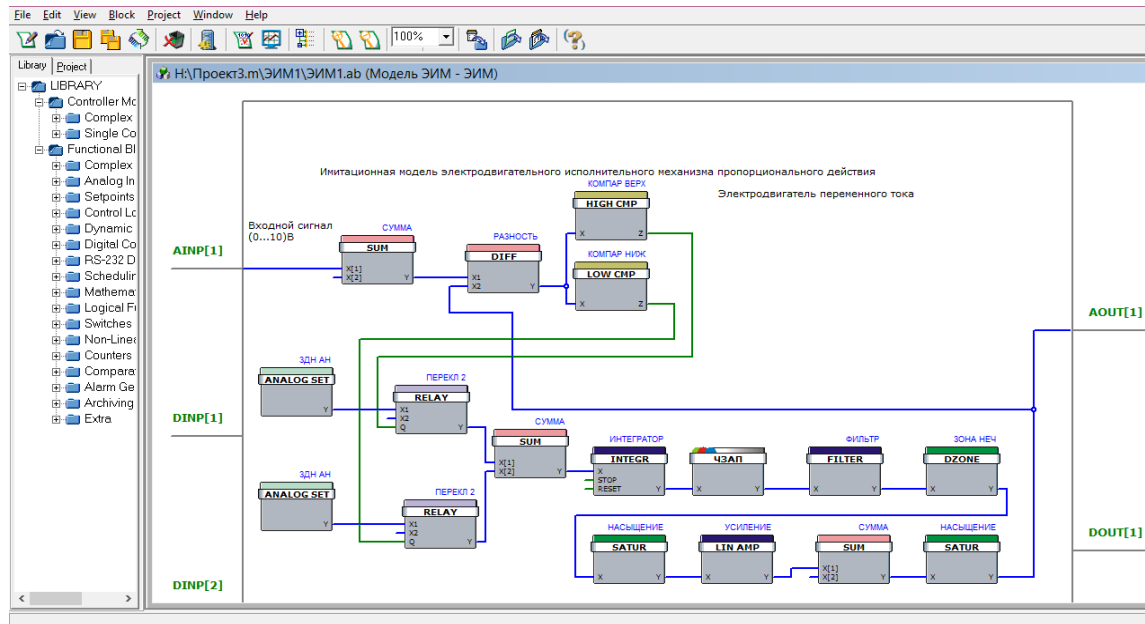


Рис. 2 – Имитационная модель ЭИМ1

Поскольку ряд изготовителей, в частности фирма Belimo (Швейцария), указывают, что входной сигнал ЭИМ соответствует диапазону (0 ... 10) В, однако их рабочий диапазон принят (2 ... 10) В (видимо из соображений повышения помехоустойчивости канала управления), то на рис. 3 показана программно реализованная модель ЭИМ2 (также с электродвигателем переменного тока), но с рабочим диапазоном входного сигнала 2 ... 10 В. Конкретнее – эта модель соответствует, например, ЭИМ типа NV24-MFT, TR24-SR фирмы Belimo.

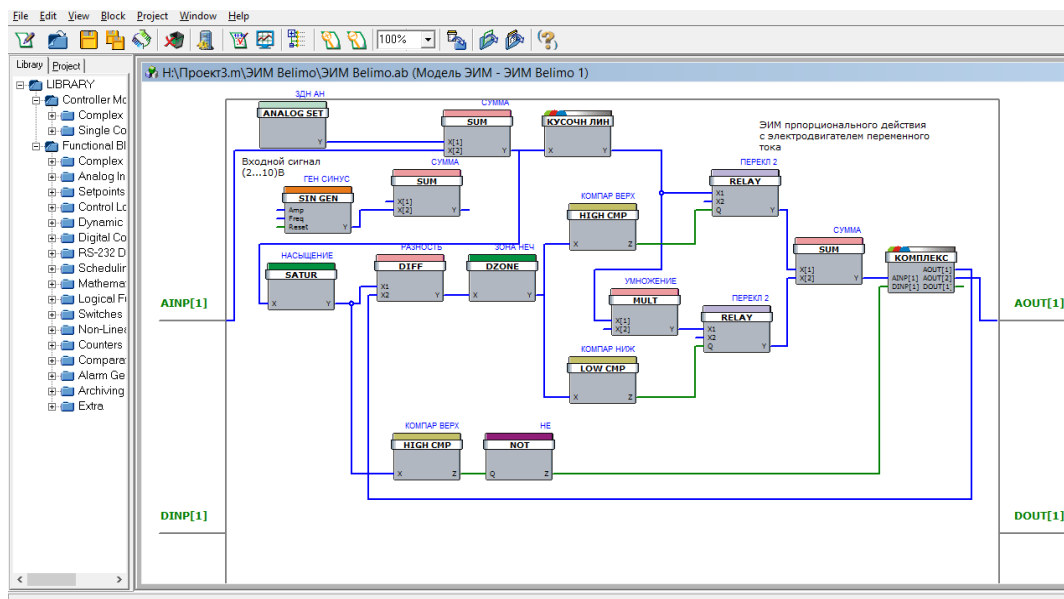


Рис. 3 – Имитационная модель ЭИМ2



**6 ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПІДГОТОВКИ КАДРІВ В ГАЛУЗІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ**

Варианту ЭИМ NVY24-MFT, TRD24-SR этой же фирмы (с такими же особенностями входного сигнала) соответствует имитационная модель ЭИМ3, показанная на рис. 4.

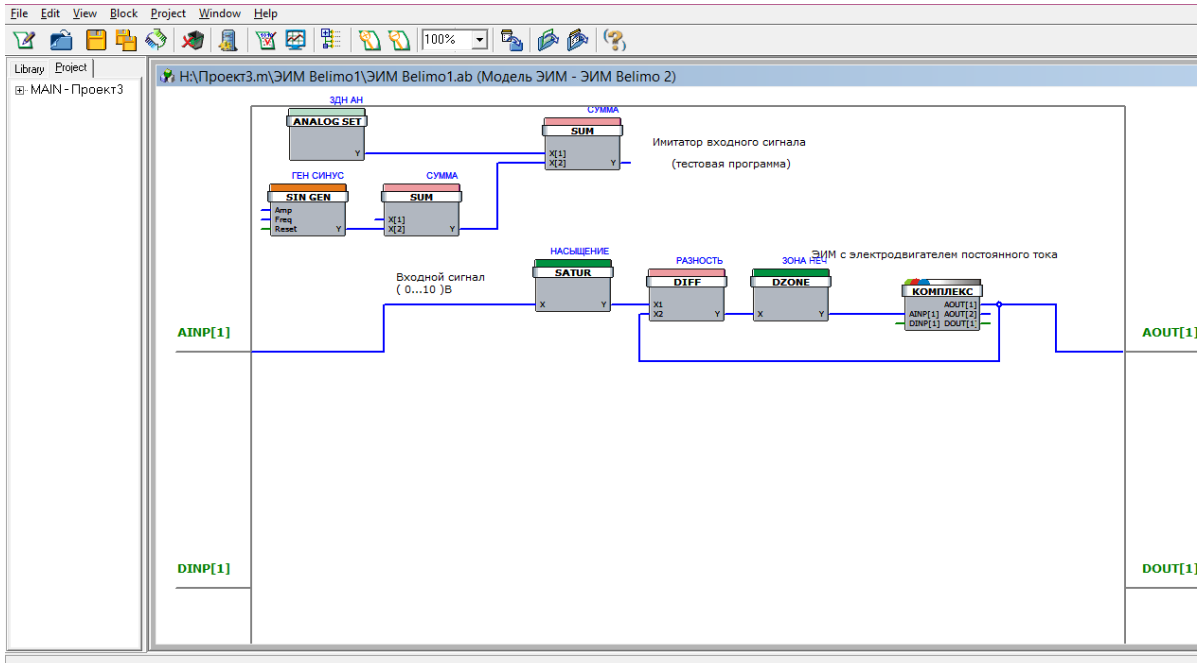


Рис. 4 – Имитационная модель ЭИМ3

В этих вариантах ЭИМ они оснащаются электродвигателями постоянного тока, что обуславливает другую динамику ИМ по сравнению с двигателями переменного тока.

В практике автоматизации по-прежнему применяются пневматические мембранные исполнительные механизмы (ПМИМ), оснащенные позиционерами. Имитационная модель ПМИМ с ПД-позиционером представлена на рис. 5.

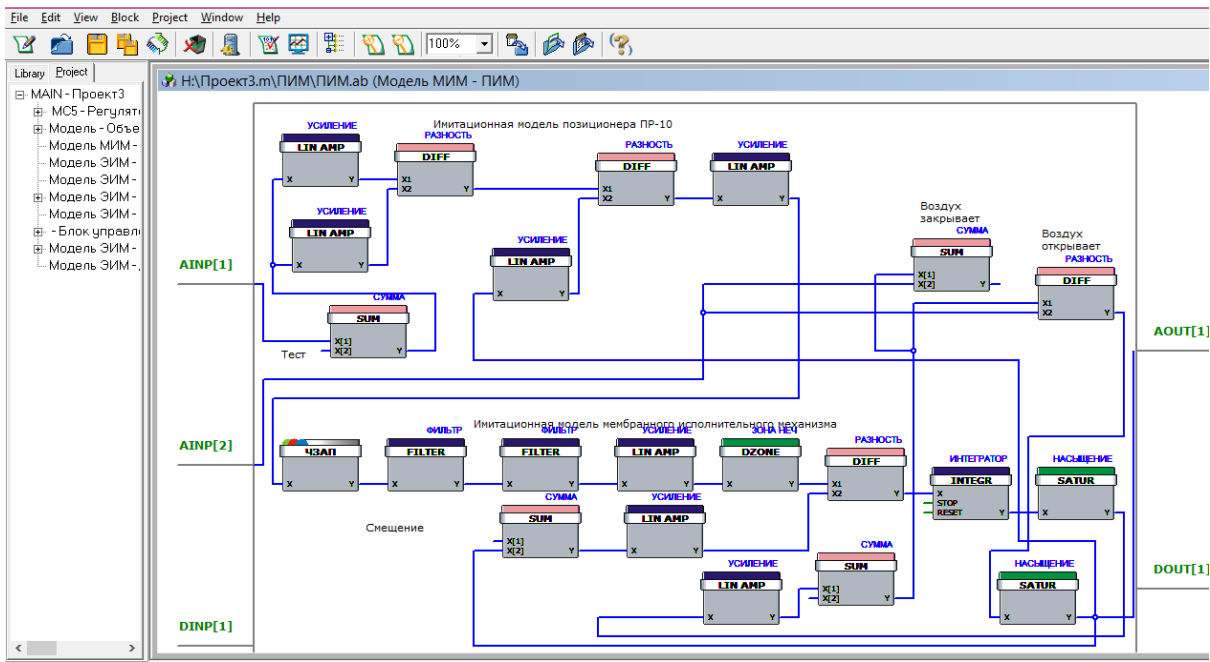


Рис. 5 – Имитационная модель ПМИМ с ПД-позиционером



**6 ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПІДГОТОВКИ КАДРІВ В ГАЛУЗІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ**

Выпускаются также ЭИМ с дискретным сигналом управления, например, фирма Belimo предлагает ЭИМ типа AV24-3, AV230-3, что обеспечивает двухпозиционность их действия («открыто», «закрыто»). Имитационная модель таких ЭИМ представлена на рис. 6.

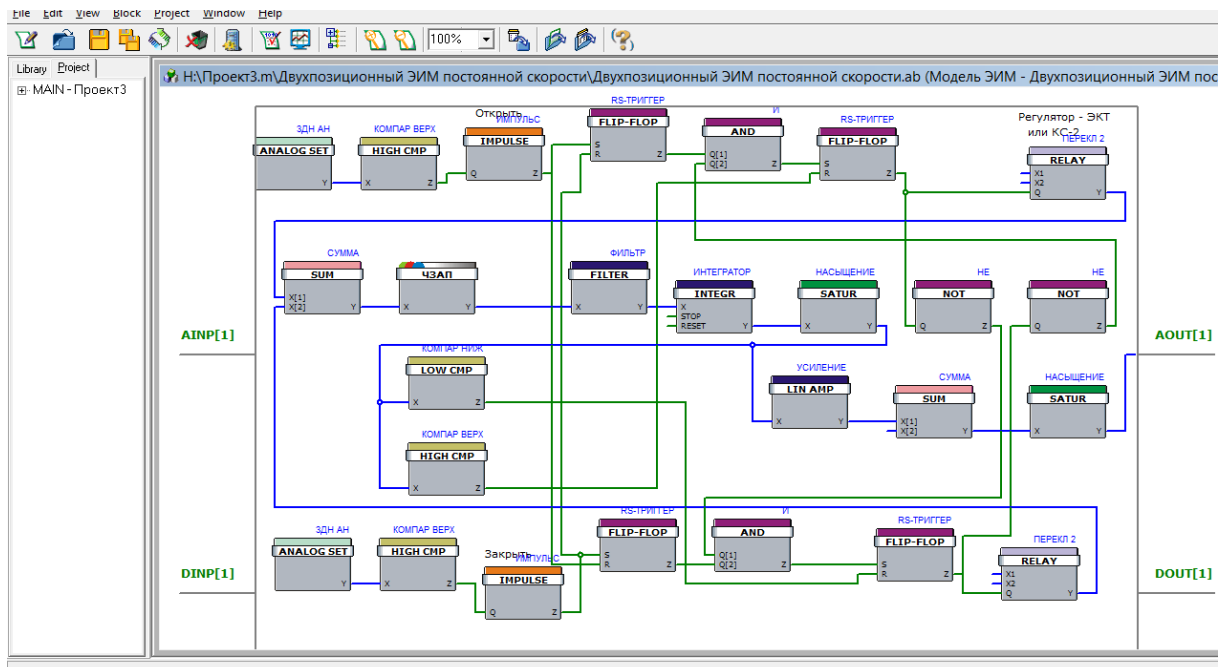


Рис. 6 – Имитационная модель ЭИМ с дискретным сигналом управления

При автоматизации производственных процессов все еще (по известным, вполне обоснованным причинам) широко применяются ЭИМ, требующие только импульсного сигнала управления (например, механизмы серий МЭО, МЭП, МЭМ). Имитационная модель такого рода ЭИМ представлена на рис. 7 (на рис. 1 – это «ЭИМ постоянной скорости»). Однако такого вида ЭИМ достаточно просто превратить в пропорциональные.

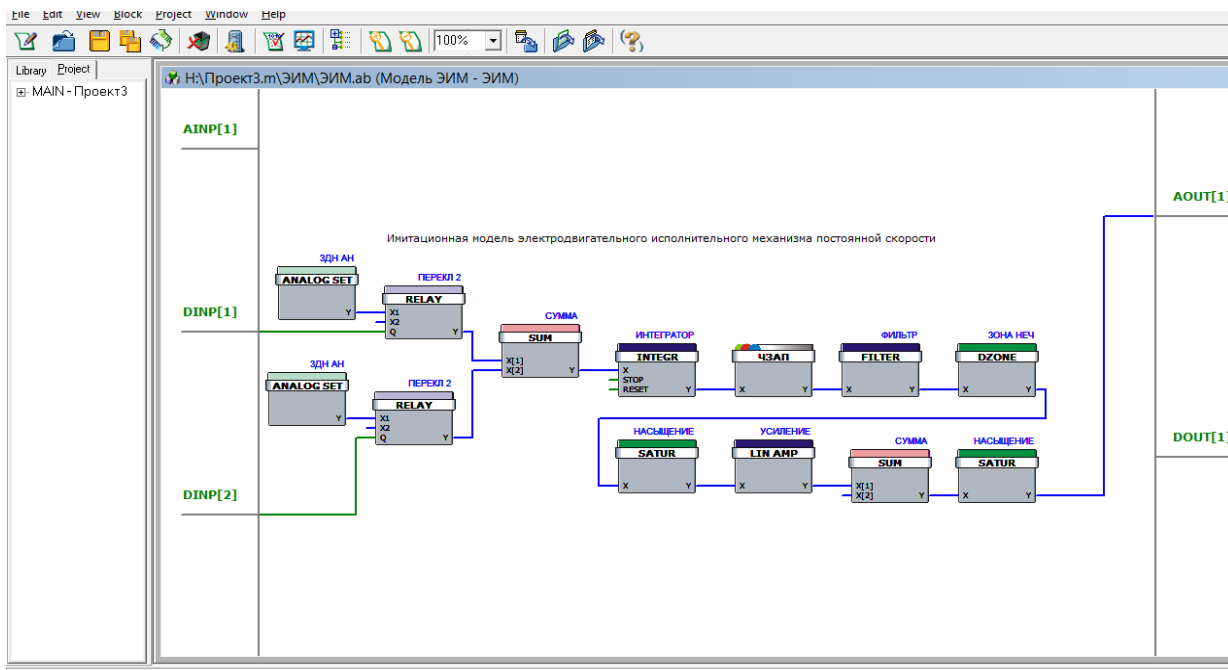


Рис. 7 – Имитационная модель ЭИМ с импульсным сигналом управления



## 6 ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПІДГОТОВКИ КАДРІВ В ГАЛУЗІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ

Пропорциональность действия ЭИМ1, ЭИМ2 и ЭИМ3 достигается тем, что на стадии изготовления в них встраивается система позиционирования. Однако такая система может быть и внешней относительно ЭИМ. Ее легко реализовать в виде специальной управляющей программы контроллера. Для этого необходимо использовать сигнал аналогового датчика ЭИМ. Таким образом механизм оказывается охваченным отрицательной обратной связью, сигнал которой вводят в контроллер (на рис. 1 это ЭИМ4).

Очевидно, что управляющая программа контроллера должна формировать широтно-модулированный сигнал, который и подается на ЭИМ.

По своим функциональным и динамическим свойствам ЭИМ4 полностью идентичен ЭИМ1.

На рис. 8 приведены результаты имитационного моделирования САР в варианте использования в ней ЭИМ4.

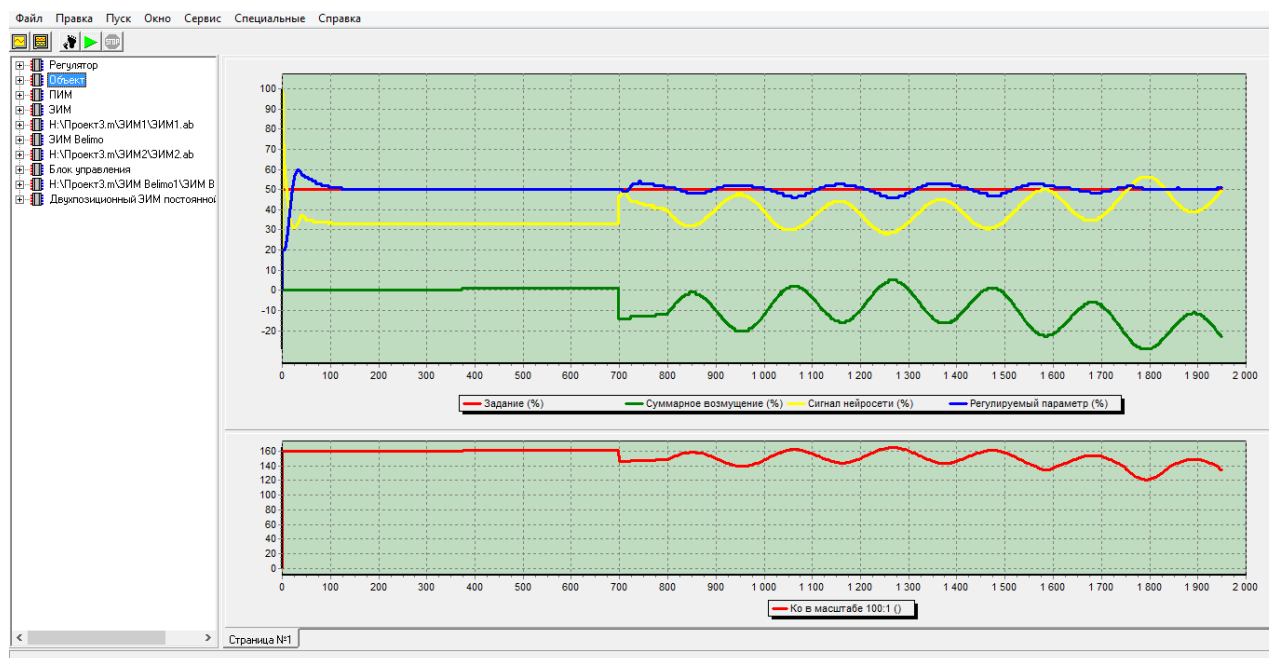


Рис. 8 – Пример динамики модели САР с ЭИМ4

Разумеется, что в полном переборе всех величин  $T_{им}$  (от 4 до 375 с) в имитационной модели ЭИМ нет необходимости. Предварительно, используя те или иные рекомендации, например, по соотношению  $\tau/T$  параметров объекта регулирования и выбранного алгоритма управления (ПИ-, ПИД-) определяют приближенную величину  $T_{им}$ . Затем, используя в имитационной модели САР численные значения  $T_{им}$  из приведенного выше ряда, начиная с наиболее близких к найденной предварительно величине  $T_{им}$ , приступают к моделированию.

Меняя в каждом прогоне модели САР величины  $T_{им}$ , определяем (по показателям качества переходных процессов) ее оптимальное значение.

Все имитационные модели оснащены программами тестирования, наличие которых позволяет снять переходные характеристики ИМ как локального устройства, т.е. вне структуры САР. Это позволяет наблюдать их динамику и определять временные параметры.

### Вывод.

Проблема повышения качества проектирования САР может быть в значительной мере устранена посредством совместного решения ряда задач, к числу которых относится задача разработки и использования комплекса адекватных имитационных моделей, отражающих все физические части САР, и в их числе – ИМ.

### Литература

1. Руководящие материалы РМ4-173-79 Системы автоматизации. Расчет электрических исполнительных механизмов при проектировании. – М., 1979.;
2. Мюллер Ю. Регулирование на основе SIMATIC. Практическое пособие по регулированию [Текст] [перевод с нем. со 2-го изд.] / Ю. Мюллер. – 2002.;





### 6 ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПІДГОТОВКИ КАДРІВ В ГАЛУЗІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ

3. Валитова Е. Г. Математическая модель теплового процесса в пищевой промышленности (на примере пастеризационной установки) [Текст] / Е. Г. Валитова, Н. И. Шиянова // Наук. пр. Одес. нац. акад. харч. техн. – Одеса, 2012. – Вип. 42. – Т. 2. – С. 478–481.;
4. Павлов А. И. Повышение адекватности имитационных моделей нелинейных диссипативных объектов [Текст] / А. И. Павлов // Автоматизация технологических и бизнес-процессов. – Одесса: ОНАПТ, 2014. – № 17. – С. 4–7.

#### References

1. Rukovodyashchye materyaly RM4-173-79 Systemy avtomatyzatsyy. Raschet elektrycheskykh yspolnytel'nykh mekhanizmov pry proektyrovanyu. – М., 1979.;
2. Myuller Yu. Rehulyrovanye na osnove SIMATIC. Praktycheskoe posobyе po rehulyrovanyu [Tekst] [pervod s nem. so 2-ho yzd.] / Yu. Myuller. – 2002.;
3. Valytova E. H. Matematycheskaya model' teplovoho protsessa v pyshchevoy promyshlennosti (na prymere pasteryzatsyonnoy ustanovky) [Tekst] / E. H. Valytova, N. Y. Shyyanova // Nauk. pr. Odes. nats. akad. kharch. tekhn. – Odesa, 2012. – Vyp. 42. – Т. 2. – S. 478–481.;
4. Pavlov A. Y. Povyshenye adekvatnosti ymytatsyonnykh modeley nelyneynykh dyssypatyvnykh ob'ektov [Tekst] /A.Y.Pavlov // Avtomatyzatsyya tekhnolohycheskykh y byznes-protsessov.–Odessa: ONAPT,2014. – #17.– S.4–7.

## НОВОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ

### Новый тренинговый центр компании Camozzi в Украине

На базе новой научно – исследовательской лаборатории Мехатроники и робототехники на базе Одесской национальной академии пищевых технологий как второго тренингового центра компании Camozzi в Украине с 10-го по 11-ое ноября состоялся первый профессиональный семинар «Пневматические приводы и средства автоматизации». В семинаре приняли участие, и в результате получили соответствующие сертификаты Международного образца, студенты факультета Автоматизации, электромеханики, компьютерных систем и управления и факультета Технологического оборудования, упаковки и технического дизайна. Кроме того в семинаре приняли участие преподаватели кафедры Автоматизации производственных процессов и кафедры Технологического оборудования пищевых производств. С 2015 года тренинговый центр станет регулярно проводить аналогичные мероприятия для всех желающих.

[\(http://www.camozzi.ua/\)](http://www.camozzi.ua/)

