



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2002109278/03, 09.04.2002

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
09.04.2002

(30) Конвенционный приоритет:  
10.04.2001 (пп.1-7) US 09/832,259

(43) Дата публикации заявки: 10.11.2003

(45) Опубликовано: 10.11.2006 Бюл. № 31

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: US 3877915 A, 15.04.1975. SU 1145922  
A3, 15.03.1985. SU 1034601 A3, 07.08.1983. US  
3899915 A, 19.08.1975. US 5486995 A,  
23.01.1996. US 5345389 A, 06.09.1994. US  
4783746 A, 08.11.1988.

Адрес для переписки:  
129010, Москва, ул. Б.Спасская, 25, стр.3,  
ООО "Юридическая фирма Городисский и  
Партнеры", пат.пов. Г.Б. Егоровой

(72) Автор(ы):  
САЙМОН Джонатан С. (US)

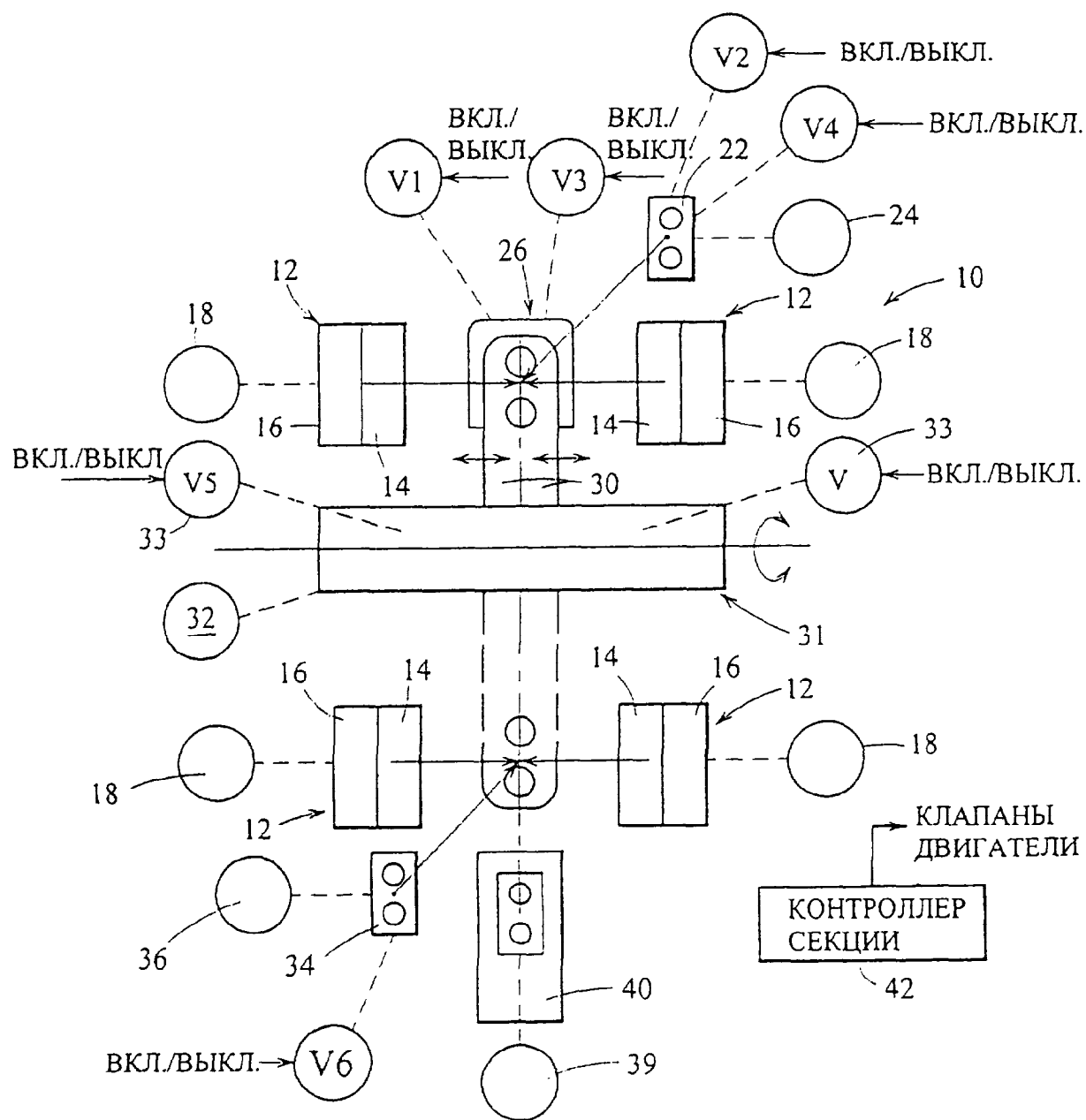
(73) Патентообладатель(и):  
ЭМХАРТ ГЛАСС С.А. (CH)

## (54) УПРАВЛЕНИЕ МНОГОСЕКЦИОННОЙ МАШИНОЙ

(57) Реферат:

Изобретение относится к управлению  
многосекционной стеклоформирующей машиной.  
Техническим результатом является  
усовершенствование системы управления и  
повышение производительности. Устройство для  
развертывания машинного цикла для  
использования со стеклоформирующей машиной,  
которая управляется программируемым  
формирователем последовательности, который

определяет 360-градусный машинный цикл,  
имеющий установленное время цикла. Устройство  
для развертывания цикла преобразует углы  
включения и выключения формирователя  
последовательности замкнутого 360-градусного  
цикла во времена событий процесса формования  
бутылок развернутого цикла, который требует для  
завершения более двух машинных циклов. 2 н. и 5  
з.п. ф-лы, 21 ил.



фиг. 1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,  
PATENTS AND TRADEMARKS

## (12) ABSTRACT OF INVENTION

(21), (22) Application: **2002109278/03, 09.04.2002**

(24) Effective date for property rights: **09.04.2002**

(30) Priority:  
**10.04.2001 (cl.1-7) US 09/832,259**

(43) Application published: **10.11.2003**

(45) Date of publication: **10.11.2006 Bull. 31**

Mail address:  
**129010, Moskva, ul. B.Spasskaja, 25, str.3,  
OOO "Juridicheskaja firma Gorodisskij i  
Partnery", pat.pov. G.B. Egorovoj**

(72) Inventor(s):  
**SAJMON Dzhonatan S. (US)**

(73) Proprietor(s):  
**EhMKhART GLASS S.A. (CH)**

## (54) CONTROL OVER THE OPERATIONS OF THE MULTI-SECTIONAL GLASS-FORMING MACHINE

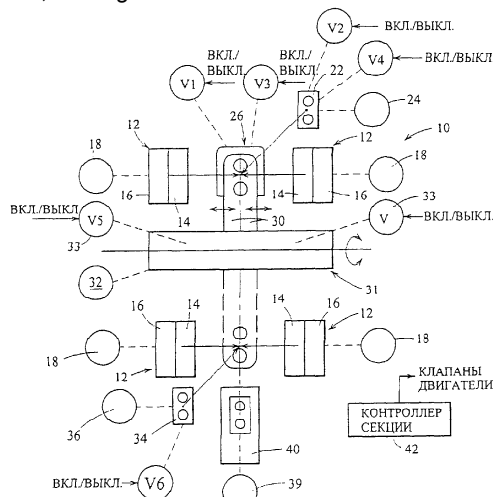
(57) Abstract:

FIELD: glass industry; methods of control over the operations of the multi-sectional glass-forming machine.

SUBSTANCE: the invention is pertaining to the method of control over operations of the multi-sectional glass-forming machine. The technical result of the invention is the improved system of control and the increase of productivity. The invention presents the control device designated for usage with the glass-forming machine, which is controlled by the programmed former of the sequence, which determines the 360-degree machine cycle having the set time of the cycle. The system for the cycle rolling in will transforms the switching on and off angles of the former of the sequence of the closed 360-degree cycles into the times of the events of the process of the bottles forming in the detailed cycle, which requires for completion of more than two machine cycles.

EFFECT: the invention ensures the improved system of control and the increase of productivity.

7 cl, 21 dwg



фиг. 1

Управление многосекционной машиной

Настоящее изобретение относится к многосекционной машине и, более конкретно, к управлению такой машиной.

Предшествующий уровень техники

5 Первая многосекционная машина была запатентована в патентах США №1843159 от 2 февраля 1932 г. и №1911119 от 23 мая 1933 г. Многосекционная машина имеет множество идентичных секций. Каждая секция имеет раму, на которой смонтирован ряд механизмов секции, включая механизмы открытия и закрытия формы со стороны заготовки и со стороны выдувания, механизм переворота и горлового кольца стеклоформирующей машины, 10 механизм отражательной плиты, механизм дутьевой головки, плунжерный механизм и механизм отставителя стеклоформирующей машины. С этими механизмами связан технологический воздушный поток, используемый, например, для охлаждения. Каждый из этих механизмов секций и технологический воздушный поток должны приводиться в действие в выбранный момент времени в цикле секции.

15 Первоначально в многосекционной машине такие устройства, как, например, клапаны, которые приводили в действие механизмы, и технологический воздушный поток должны были механически включаться и выключаться в каждом цикле, и временные характеристики процесса контролировались с помощью 360-градусного времязадающего барабана, который представлял собой цилиндрический барабан, имеющий ряд кольцевых пазов, по 20 одному для каждого клапана, каждый из которых служил опорой для упоров «включения» и «выключения» для размыкания соответствующего переключателя, связанного с конкретным клапаном. Поворот этого механического времязадающего барабана на 360° постоянно приравнивался к завершению одного цикла управления машины или секции, и соответственно специалисты в данной области техники всегда анализировали рабочие 25 характеристики машины за один цикл оборота, т.е. за один из таких периодических циклов от 0° до 360°. Когда электронные средства синхронизации пришли на смену механическому времязадающему барабану, устройства стали включаться и выключаться с помощью электронного устройства задания последовательности (контроллера последовательности), которое воспроизводит цикл управления за один оборот 360- 30 градусного механического времязадающего барабана. Угловое положение электронного контроллера последовательности определялось с помощью устройства кодирования, и электронные переключатели включались и выключались при тех же самых углах, что и в случае механического времязадающего барабана. Весьма значительной разработкой, которая существенным образом усовершенствовала производительность электронного 35 контроллера последовательности, стала концепция термодинамических режимов (патент США №3877915), согласно которой группы таких электронных переключателей связывались таким образом, что они могли регулироваться одновременно. Эти контроллеры машин позволяют пользователю электронными средствами регулировать график включения/выключения (угол) для различных клапанов, которые управляют работой 40 механизмов секции. Данный известный способ не позволяет оператору непосредственно вводить команды в машину для достижения желательных длительностей формования (например, время контакта при штамповке, время подогрева). Он также не исключает ситуаций некорректной установки пользователем последовательности срабатывания или даже установки таких последовательностей, которые могут привести к повреждениям из-за 45 столкновений механизмов. Только при значительном опыте и глубоком знании процесса оператор может эффективным образом отрегулировать временной режим работы машины при использовании известного способа, а поскольку уровни знаний операторов различаются весьма значительно, то и производительность машины может существенным образом изменяться.

50 Задача изобретения

Задачей настоящего изобретения является создание усовершенствованной системы управления для стеклоформирующей машины, которая упростит работу машины и облегчит настройку машины для достижения более высокой производительности.

Другие задачи и преимущества настоящего изобретения поясняются в последующем описании, иллюстрируемом чертежами, на которых представлен предпочтительный вариант осуществления настоящего изобретения.

Краткое описание чертежей

- 5 Фиг.1 - схематичное представление одной секции многосекционной машины, которая может иметь одну или более таких секций;  
 Фиг.2 - первая часть сетевой диаграммы ограничений для процесса формования выдуванием;  
 Фиг.3 - вторая часть сетевой диаграммы ограничений для процесса формования  
 10 выдуванием;  
 Фиг.4 - третья часть сетевой диаграммы ограничений для процесса формования выдуванием;  
 Фиг.5 - четвертая часть сетевой диаграммы ограничений для процесса формования выдуванием;  
 15 Фиг.6 - пятая часть сетевой диаграммы ограничений для процесса формования выдуванием;  
 Фиг.7 - шестая часть сетевой диаграммы ограничений для процесса формования выдуванием;  
 Фиг.8 - седьмая часть сетевой диаграммы ограничений для процесса формования  
 20 выдуванием;  
 Фиг.9 - восьмая часть сетевой диаграммы ограничений для процесса формования выдуванием;  
 Фиг.10 - сетевая модель для матрицы инцидентности с ветвлением;  
 Фиг.11 - диаграмма синхронизации событий для электронного контроллера  
 25 последовательности цикла в 360°, который управляет секцией многосекционной машины;  
 Фиг.12А и 12В - сетевая диаграмма для использования в целях развертывания замкнутого цикла;  
 Фиг.13 - блок-схема, иллюстрирующая создание компьютеризованной модели математического представления сетевой диаграммы ограничений, полученной путем  
 30 развертывания замкнутого цикла;  
 Фиг.14 - блок-схема, иллюстрирующая часть компьютеризованной модели, которая преобразует углы событий развернутого цикла в моменты времени событий разомкнутого цикла;  
 Фиг.15 - логическая блок-схема, иллюстрирующая операции управления с  
 35 использованием компьютеризованной модели для анализа технологического маршрута (график)а развернутого цикла в отношении нарушений заданных ограничений таких, как последовательность, столкновение или нарушение длительности;  
 Фиг.16 - логическая блок-схема, иллюстрирующая операции управления с  
 40 использованием компьютеризованной модели для анализа графика развернутого цикла для определения процессов термического формования;  
 Фиг.17 - логическая блок-схема, иллюстрирующая операции управления с использованием компьютеризованной модели для анализа графика развернутого цикла в целях оптимизации графика;  
 Фиг.18 - логическая блок-схема, иллюстрирующая операции управления с  
 45 использованием компьютеризованной модели для определения углов событий для подходящего графика с использованием "N" входов длительности процесса термического формования;  
 Фиг.19 - логическая блок-схема, иллюстрирующая операции управления с использованием компьютеризованной модели для оптимизации графика развернутого  
 50 цикла;  
 Фиг.20 - логическая блок-схема, иллюстрирующая операции управления с использованием компьютеризованной модели для выявления, если график определен как подходящий, любого действующего ограничения, которое ограничивает дальнейшее

улучшение;

Фиг.21 - логическая блок-схема, иллюстрирующая операции управления с использованием компьютеризованной модели для минимизации износа смещаемых механизмов.

5 Краткое описание предпочтительного варианта осуществления

Многосекционная машина содержит множество (обычно 6, 8, 10 или 12) секций 10. Каждая секция имеет участок штамповки, включающий в себя механизм 12 открытия и закрытия формы, имеющий противоположные опоры 14 для закрепления половин штамповочной формы. Когда эти опоры формы сомкнуты с помощью соответствующего механизма 16 смещения, который может смещать опору формы между открытым (показано) и закрытым положениями и который смещается двигателем 18, таким как серводвигатель, дискретные капли расплавленной стекломассы могут доставляться в замкнутую черновую форму. Открытый верх черновой формы затем закрывается с помощью отражательной плиты опоры 22 отражательной плиты, которая имеет возможность смещения между убраным и выдвинутым положениями с помощью двигателя (такого как серводвигатель) 24. Если секция работает в режиме прессовыдувного формования, плунжер плунжерного механизма 26 выдвигается по вертикали вверх к капле стекломассы для формования пульки. Охлаждающий воздух подается к плунжеру посредством клапана V1. Если секция работает в режиме формования выдуванием, то венчик формируется путем подачи воздуха для выдувания для осаждения посредством клапана V2 в механизме 22 отражательной плиты, и пулька формируется с приложением противоположно выдуваемого воздуха к плунжеру посредством клапана V3, в то время как вакуум приложен к отражательной плите через клапан V4.

После формования пульки опора отражательной плиты перемещается назад, опоры формы убираются, и пара кронштейнов 30 держателя горлового кольца, закрепленных с возможностью поворота на механизме 31 переворота, поворачиваются на 180° приводом 32 сервомотора. Участок штамповки также включает в себя механизм 12 открытия и закрытия формы, имеющий противоположные опоры 14 формы, которые служат опорой для половин формы для выдувания. Эти опоры формы смещаются между позициями открытия и закрытия с помощью подходящего механизма 16 смещения, который смещается мотором 18, таким как сервомотор. После того как пулька позиционирована на участке выдувания, опоры формы замыкаются, кронштейны горлового кольца размыкаются и освобождают пульку (каждый кронштейн смещается с помощью пневматического цилиндра (не показан), который приводится в действие соответствующим клапаном V5), механизм переворота возвращает кронштейны горлового кольца к стороне заготовки (кронштейны замыкаются перед их возвращением), и опора 34 дутьевой головки, которая имеет возможность смещения между убраным положением и выдвинутым положением, где установленная на опоре дутьевая головка закрывает черновую форму, смещается в выдвинутое положение с помощью соответствующего двигателя, такого как серводвигатель 36, для выдувания из пульки бутылки. Это завершающее выдувание контролируется клапаном V6.

После того как бутылка отформована, дутьевая головка втягивается, черновые формы открываются и механизм 38 отставителя стеклоформирующей машины, приводимый в действие соответствующим двигателем 39, таким как серводвигатель, смещается для захвата отформованной бутылки и переноса ее в местоположение над приемным столом 40, где она охлаждается в подвешенном состоянии и затем размещается на приемном столе. Помимо перемещения механизмов и устройств, технологический поток воздуха, подаваемый к механизмам, подвижным или стационарным, также может регулироваться. Когда формы для выдувания смыкаются, включается воздушный поток, предназначенный для охлаждения формы, чтобы охладить отформованную бутылку.

50 Каждая секция управляется компьютером 42, который работает под управлением 360-градусного времязадающего барабана (программируемого контроллера последовательности), который определяет конечное число угловых приращений по окружности барабана, при которых механизмы и т.п. средства могут включаться и

выключаться, в каждом повороте на 360 градусов. В процедуре управления, таким образом, известно время, требуемое для поворота на 360 градусов, и это время может фиксироваться или определяться как длительность между однократными на цикл импульсами, такими как импульсы с дозатора многосекционной машины. Каждый клапан

5 циклируется (включается и выключается), и каждый механизм циклируется в пределах времени машинного цикла электронным времязадающим барабаном (программируемым контроллером последовательности), который является составной частью компьютера 42.

В соответствии с настоящим изобретением сначала определяется оснастка путем формирования диаграммы ограничений развернутого цикла для действительной

10 конфигурации многосекционной машины и затем путем формирования математического представления диаграммы ограничений развернутого цикла, которое обеспечивает возможность его формулирования и реализации средствами автоматизации. Термин «развернутый» означает для индивидуальной секции такой цикл обработки, который начинается с формования капли расплавленной стекломассы путем отделения капли от

15 дозатора стекломассы и заканчивается удалением отформованной бутылки с участка выдувания. Этот цикл обработки для своего завершения требует больше времени, чем один 360-градусный машинный цикл времязадающего барабана (обычно два 360-градусных машинных цикла).

На фиг.2-9 показана возможная сетевая диаграмма ограничений для репрезентативного

20 процесса формования выдуванием при изготовлении стеклянных бутылок в многосекционной машине. Цикл начинается с вертикального реза, представленного временным узлом z1 (символами «z» и «n» обозначены временные узлы). Перемещение «Доставка капли/М13» (блок, содержащий символ «М», представляет действие, которое будет осуществлять перемещение между начальной и конечной позициями в направлении

25 перемещения, обозначенном стрелкой) начинается в узле z1 и заканчивается в n177/e26/n6 (вертикально ориентированный знак равенства, обозначенный символом «е», соединяющий два узла, указывает на то, что два соединенных узла возникают в один и тот же момент времени). Перемещение, обозначенное как «Доставка капли/М13», подразделяется на два субперемещения, первое из которых «Капля в зоне столкновения с

30 отражательной плитой/м2» (блок, содержащий символ «m», представляет субперемещение) начинается в z1/e1/n3 и заканчивается в узле n4, а второе - «Капля пересекает черновую форму/м3» - начинается в n4/e2/n5 и заканчивается в узле n6.

От узла z1 (вертикального реза) исходит также другая ветвь «Общая обработка/d13, которая начинается в z1/e79/n175 и заканчивается в n176/e78/n84 (фиг.9). Производные

35 ветви диаграммы идентифицируются эллипсами, содержащими символ «D», и представляют длительности термообработки, которые определены как функция машинных событий.

На фиг.2 также показано, что перемещение «Плунжер в положение загрузки /MP1» (символ «Р» обозначает предыдущий цикл) должно быть завершено в узле n13. Узел n13

40 соответствует времени, когда перемещение «Плунжер в положение загрузки /М1» было завершено в узле n15 в течение предыдущего цикла. Это показано ветвью временного цикла (фиг.6), которая соединяет узлы n13 и n15. Плунжер включает в себя независимо перемещаемую мешалку для стекломассы, и в конце перемещения «Плунжер в положение загрузки/М1» как мешалка, так и плунжер подняты. Узел n133, являющийся концом

45 перемещения «Доставка капли/М13», должен находиться спустя некоторое время (s2) (символ «s» сбоку от пары рядом расположенных стрелок, указывающих направление, представляет некоторое время (ограничение последовательности), которое должно пройти между соединенными узлами) после n13.

На фиг.2 также показан узел n20, который соответствует времени, когда перемещение

50 «Отражательная плита отведена/MP15» было завершено в предыдущем цикле t2. Это показано ветвью t2 временного цикла, которая соединена с узлом n22 (фиг.4), что соответствует времени, когда перемещение «Отражательная плита отведена/MP15» завершается в последующем цикле. Узел n20 соединен с узлом n1, в котором начинается

перемещение «Отражательная плита подведена/М14» спустя некоторое время (s22) после n20, т.е. перемещение «Отражательная плита подведена/М14» не может начаться, пока не будет завершено перемещение «Отражательная плита отведена/МР15». Перемещение «Отражательная плита подведена/М14» завершается в узле n93. Перемещение

- 5 отражательной плиты разделяется на два субперемещения: «Отражательная плита перемещается до взаимовлияния с каплей стекломассы/м4», которое начинается в n1/e27/n7 и заканчивается в n8, и «Завершение подвода отражательной плиты/м5», которое начинается в n8/e3/n9 и заканчивается в n10/e28/n93. Также показана ветвь конфликтной ситуации «Отражательная плита сталкивается с каплей/с1» (ветви конфликтной ситуации представлены волнистой линией, обозначенной символом «с»), соединяющей узел n4 с узлом n8. Это означает, что капля стекломассы должна быть доставлена в узел n4 раньше или не позже, чем отражательная плита достигнет узла n8, чтобы гарантировать, что не произойдет столкновения.

- 10 На фиг.2 также показан узел n40, который соответствует времени перемещения «Черновые формы закрыты/МР9» последнего цикла (узел n40 соединен с узлом n55 (фиг.6), который является концом перемещения «Черновые формы закрыты/М9» текущего цикла, где t1 указывает на разницу циклов). Перемещение «Черновые формы закрыты/МР9» завершается в узле n40, что на некоторое время (s21) опережает начало перемещения «Капля пересекает заготовку/м3» в узле n5.

- 20 Когда капля полностью доставлена в черновые формы, что соответствует n177/e24/n26, начинается перемещение «Контакт с черновой формой /d1» (фиг.3), продолжающееся до n25/325/n28, когда начинается перемещение «Открытие черновых форм/М5». Перед началом перемещения «Контакт с черновой формой/d1», в момент n5/e63/n183 (момент, когда начинается перемещение «Капля пересекает черновую форму/м3») открывается вакуумный клапан, запуская ветвь обработки «Вакуумная поддержка/р13» (ветви обработки идентифицированы эллипсами, содержащими символ «Р»). Ветвь «Вакуумная поддержка/р13» продолжается до узла n182, когда вакуумный клапан должен запираться. Это означает, что в то же самое время, когда капля пересекает черновую форму, через горловое кольцо прикладывается вакуум (до завершения перемещения плунжера в положение загрузки), чтобы содействовать вытягиванию капли в горловую область черновой формы и в горловое кольцо.

- 30 В момент n12, который соответствует некоторому времени (s5), после того как капля доставлена (n177), и некоторому времени (s3), после того как отражательная плита подведена (n10), клапан сжатого воздуха открывается для инициирования перемещения «Установить выдув/р1», которое завершается в узле n11/e73/n21/e68/n155 запирающим клапана сжатого воздуха. Когда перемещение «Установить выдув/р1» завершается, начинается перемещение «Выпуск установленного выдува/р10», завершающееся в момент n19, и начинается перемещение «Контакт с горловым кольцом/d8», завершающееся в n154/e69/n113 перемещением «Открытие горловых колец/м21» (фиг.5). Это означает, что при завершении установки выдува капля стекломассы приводится в контакт с горловым кольцом, и нагрев снимается с капли до тех пор, пока горловые кольца не будут открыты. Перемещение «Отражательная плита вниз/М2» (фиг.2) начинается в узле n69, который соответствует некоторому времени (s1) после n11, и завершается в n35 (закрывает верх черновой формы для встречного выдува). В узле n172 (фиг.3), который

- 45 соответствует некоторому времени s10 после n177, когда капля стекломассы полностью загружена в черновые формы, и некоторому другому времени s11 после завершения перемещения «Охлаждение черновой формы/рР7» в момент n173 в течение последнего цикла (t11), начинается перемещение «Охлаждение черновой формы/р7» с открытия клапана и продолжается до узла n171, когда клапан закрывается.
- 50 В момент n156 (фиг.3), который соответствует времени s40 после завершения перемещения «Вакуумная поддержка/р13» в узле n182 и который соответствует времени s7 после n19, когда завершено перемещение «Выпуск установленного выдува/р10», процесс «Плунжер смещается в положение встречного выдува/М3 (мешалка убрана из

стекломассы) завершается в момент n70, и в то же время (n156/t70/n158) стекломасса в зоне венчика бутылки, находящаяся в полном контакте с формами, будет подогреваться (перемещение «Подогрев зоны венчика/c19») до n157/e71/n160, что соответствует некоторому моменту времени (s39) и некоторому времени (s36) после узла n35 (конец перемещения «Отражательная плита вниз/M2»). В момент n160 начинается процесс «Встречный выдув/p11» с открытия клапана и продолжается до момента n159/e80/n181, когда открывается клапан, открывающий выпуск в отражательной плите, обеспечивая запуск процесса «Выпуск встречного выдува/p12». Этот процесс заканчивается в момент n180. В момент n148, который соответствует некоторому времени (s38) после n159, осуществляется процесс «Плунжер смещается в положение переворота/M4», в котором как мешалка, так и плунжер опущены (это происходит до момента n147).

В момент n149/e66/n151, соответствующий некоторому моменту времени (s37) после окончания процесса «Выпуск встречного выдува/p12» в момент n180, одновременно начинаются следующие события: 1) «Подогрев основания пульки/d7, которое продолжается до момента n150/e65/n28, и 2) «Отражательная плита отведена/M15 (фиг.4), которое продолжается до n22/e30/n33. Перемещение «Отражательная плита отведена/M15» может быть разделено на два субперемещения, первое из которых «Отвод отражательной плиты исключает взаимовлияние с переворотом/m11» начинается в момент n149/e29/n32 (фиг.3) и заканчивается в n31/e7/n34, а второе - «Завершение отвода отражательной плиты (после взаимодействия)/m12» - начинается в узле n34 и заканчивается в узле n33. В узле n28 (фиг.3), который соответствует некоторому времени (s8) после n149, одновременно возникают следующие события: 1) «Открытие черновой заготовки (черновые формы открываются)/M15, которое заканчивается в узле n27 (фиг.4), оставляя основание пульки на плате основания черновых форм; 2) «Подогрев (пульки)/d4» - начинается в момент n28/e15/n29 (фиг.4) и продолжается до момента n61/e16/n30 (Фиг.6) (некоторое время (s15) спустя после завершения перемещения «Подвод дутьевой головки/M18» в узле n101), когда начинается перемещение «Додувка/p2 (фиг.7), заканчивающееся в узле n63, и «Обратный подогрев/d3», который начинается в n28/e8/n38 (Фиг.3) и продолжается до n37/e9/n39 (фиг.5), что соответствует завершению перемещения «Переворот/M6», которое началось в узле n24. В узле n36 (фиг.5), спустя некоторое время (s4) после n37, подогрев будет продолжаться с перевернутой пулкой («Восстановление переворота пульки/p4») до узла n17. Перемещение переворота подразделяется на ряд субперемещений. В начале смещения переворота (n24/e53/n153) (фиг.4) имеется субперемещение «Взаимовлияние переворота с отражательной плитой/m40», которое заканчивается в момент n152/e67/n125. Следующее субперемещение представляет собой «Взаимовлияние отражательной плиты и переворота до взаимовлияния переворота и дутьевой головки/m32», которое заканчивается в момент n124/e52/n127. Следующее субперемещение представляет собой «Взаимовлияние 1 переворота на отставитель от взаимовлияния дутьевой головки/m3», которое заканчивается в n126/e60/n140, когда начинается перемещение «Взаимовлияние 2 переворота (движения) на отставитель/m33», заканчивающееся в n139/e61/n142. Следующее субперемещение представляет собой «Взаимовлияние 3 переворота на отставитель/m38», которое начинается в узле n142 и заканчивается в n141/e54/n129. Наконец, возникает перемещение «Завершение переворота/m35» (фиг.5), начинающееся в узле n129 и заканчивающееся в n128/e55/n39.

Выявлен ряд ветвей конфликтных ситуаций: «Плунжер сталкивается с переворотом/c2» (фиг.3), когда плунжер M4 не смещен в положение переворота, перед перемещением переворота (время n147 относительно времени n24); «Конфликт черновых форм с переворотом/c3» (фиг.4), когда черновые формы M5 не смещены в открытое положение перед перемещением переворота (время n27 относительно времени n24). Показан ряд других конфликтных ситуаций: конфликт отражательной плиты с переворотом - ветвь с4, когда отражательная плита m11 достигает выбранной точки перед n24, и отражательная плита вступает в конфликт с переворотом - ветвь с18, когда отражательная плита m11 достигает своего полностью отведенного положения перед n152, когда при перевороте

достигаются внешние границы его зоны взаимовлияния с отражательной плитой. Путем подразделения зоны взаимовлияния на более чем одну зону может быть обеспечен более ранний запуск механизма. Дутьевая головка будет входить в конфликт с переворотом (ветвь с12), если перемещение «Дутьевая головка вверх МР19» не произошло (последний цикл t4), прежде чем при перевороте достигнут конец перемещения «Взаимовлияние переворота и отражательной плиты по отношению к взаимовлиянию переворота и дутьевой головки» (время n23 по отношению к времени n124).

Также показано перемещение отставителя - «Отставитель в зоне взаимовлияния 1/мр13» (фиг.4), которое заканчивается в момент n143 (последний цикл/t7), «Отставитель в зоне взаимовлияния 2/мр24», которое заканчивается в момент n144 (последний цикл/t8); и «Отставитель в зоне взаимовлияния 3/мр36» (фиг.5), которое заканчивается в момент n145 (последний цикл/t9). Выявлен ряд конфликтных ситуаций: «Конфликт отставителя с перемещением/с13» (фиг.4), если при перемещении достигается зона взаимовлияния 1 перед действием отставителя (узел n143 по отношению к узлу n126); «Конфликт отставителя с перемещением/с17», если при перемещении достигается зона взаимовлияния 2 перед действием отставителя (узел n144 по отношению к узлу n139); «Конфликт отставителя с перемещением/с16» (фиг.5), если при перемещении достигается зона взаимовлияния 3 перед действием отставителя (узел n141 по отношению к узлу n145). В узле n179 (фиг.4), который соответствует некоторому времени (s34) после узла n28, начинается перемещение «Охлаждение горлового кольца/р9» с открывания клапана и продолжается до узла n178, который соответствует некоторому времени s35 перед узлом n24, когда начинается осуществляться движение при перевороте/М6.

Черновые формы, которые были открыты - Мр24 (фиг.4) в момент n14 в течение последнего цикла t10, начинают закрываться в момент n98/e56/n146, который соответствует некоторому времени (s17) после n14. Закрывание реализуется посредством ряда перемещений: «Формы закрываются до ширины изделия/м39» (фиг.5), которое начинается в узле n146 и заканчивается в n109/e62/n85; «Формы закрываются до ширины пульки/м16», которое начинается в узле n85 и заканчивается в n62/e32/n42; «Формы закрываются до позиции приема/м14», которое начинается в узле n42 и заканчивается в n41/e10/n44; и «Формы закрывают крышку/м15», которое начинается в узле n44 и заканчивается в n43/e31/n97 (фиг.6). Перемещение «Отставитель удаляет изделие из формы/Мр30» (фиг.4) должно задействоваться в предыдущем цикле t3 до перемещения «Формы закрываются до ширины изделия/м39», чтобы избежать столкновения отставителя с формами - ветвь с10 (время n89 по отношению к времени n109). Кроме того, перемещение «Восстановление переворота пульки/р4» должно быть завершено, прежде чем формы закроются (время n17 по отношению к n62/e32/n42), в противном случае возникнет конфликтная ситуация - «Столкновение пульки с формой/с5».

Горловое кольцо размыкается для освобождения пульки у дутьевой головки (перемещение «Горловые кольца размыкаются/М8») (фиг.5). Это перемещение, которое происходит от n46 до n45/e44/n112, разделено на две части: «Задержка размыкания горлового кольца/м18», которое начинается в то же самое время n46/e45/n111 и заканчивается в n110/e43/n113 (спустя некоторое время (s26) после n41 - конец перемещения «Формы закрываются до позиции приема/м14», и за некоторое время (s25) до завершения перемещения «Черновые формы закрываются/М16» в узле n97) (фиг.6), когда начинается вторая часть («Открытие горловых колец/м21»). Эта вторая часть завершается в узле n112. В случае, когда перемещение «Горловые кольца замыкаются/М7» (фиг.6) реализуется (n49) перед перемещением «Взаимовлияние переворота на горловое кольцо/черновую форму/м19» (n51), будет возникать конфликтная ситуация - «Горловые кольца сталкиваются с черновой формой/с6». В узле n100 (фиг.5), который соответствует некоторому времени (s13) после отпирания горловых колец (М8) в узле n45, движение переворота осуществляется назад к его исходной позиции («Переворот/М17»). Переворот завершается в n99/t34/n53. Переворот включает в себя три субперемещения: 1) «Переворот исключает взаимовлияние с дутьевой головкой/м17»,

которое начинается в п100/е33/п48 и заканчивается в п47/е12/п52, 2) следующее за ним «Взаимовлияние переворота и горлового кольца/черновой формы/м19», которое заканчивается в п51/е13/п54, 3) следующее за ним «Завершение переворота/м20, заканчивающееся в п53/е34/п99. В момент п50, спустя некоторое время (s14) после п100, осуществляется перемещение «Замыкание горловых колец/М7», продолжающееся до п49. Если горловые кольца не замкнутся до момента, когда переворот достигает своего исходного положения взаимовлияния с черновой формой (время п49 по отношению к времени п51), то возникает конфликтная ситуация - «Горловые кольца сталкиваются с черновой формой/с6».

В момент времени п102 (фиг.5), соответствующий некоторому времени (s23) после п23, осуществляется перемещение «Подвод дутьевой головки/М18» (фиг.6), заканчивающееся в п101/е36/п59. Это двухэтапное смещение, начинающееся с перемещения «Взаимовлияние дутьевой головки на переворот/м2, которое начинается в п102/е35/п58 и заканчивается в п57. В случае, когда событие «Переворот устраняет взаимовлияние с дутьевой головкой» не происходит перед событием «Взаимовлияние дутьевой головки на переворот», возникает состояние «Переворот приводит к столкновению с дутьевой головкой/с8» (узел п57 по отношению к узлу п47). Последняя часть смещения дутьевой головки представляет собой «Завершение подвода дутьевой головки/м23», которое начинается в п57/е14/п60 и заканчивается в п59.

В узле п56 начинается перемещение «Заготовки закрываются/М9», которое продолжается до п55. Если завершение перемещения «Переворот/М17» в узле п99 не предшествует началу перемещения «Заготовки закрываются/М9» в узле п56, то возникнет конфликтная ситуация «Переворот приводит к столкновению с черновыми формами/с7». В узле п16, спустя некоторое время (s6) после узла п99, осуществляется перемещение «Плунжер в позицию загрузки/М1», завершающееся в узле п15.

Узел п30/е17/п66 (фиг.7) есть начало перемещения «Контакт с формой/д8» (фиг.8), которое завершается в п65/е18/п68, и перемещения «Додувка/р2», которое завершается в узле п63. Узел п30/311/п165 также является концом перемещения «Предварение вакуумного дутья/д12», которое начинается в узле п166/е77/п168. В узле п168 также начинается перемещение «Вакуумное дутье/р5», которое заканчивается в узле п167, что соответствует некоторому времени (s29) перед узлом п68/е18/п65 (фиг.8), являющимся концом перемещения «Контакт с формой/д5». Оба перемещения «Предварение вакуумного дутья/д12» и «Вакуумное дутье/р5» начинаются в узле п168/е77/п166 (фиг.6), что соответствует некоторому времени (s9) после п97. В узле п91, которое соответствует некоторому времени (s27) после конца перемещения «Заккрытие формы для выдувания/М16» в узле п97, начинается перемещение «Охлаждение формы для выдувания/р3» (фиг.8), продолжающееся до узла п90, что соответствует некоторому времени (s30) перед концом (п65/318/п68) перемещения «Контакт с формой/д5». Кроме того, перемещение «Предварительное охлаждение формы для выдувания/д11» (фиг.6) начинается в то же самое время п91/е74/п162 и продолжается до п161/е75/п30/е16/п61, что также является концом перемещения «Переворот/д4». Перемещение «Заключительное охлаждение/р6» (фиг.7) начинается в узле п170, который соответствует некоторому времени (s31) после конца перемещения «Подвод дутьевой головки/М18» в узле п101, и заканчивается в узле п169.

В узле п104 (фиг.7), соответствующем некоторому времени (s32) после конца «Заключительного охлаждения/р6» в узле п169, начинается перемещение «Поднятие дутьевой головки/М19», завершающееся в п103/е38/п73. Это перемещение может быть разделено на ряд субперемещений: 1) «Поднятие дутьевой головки до конца додувки/м41», начинающееся в п104/е76/п164 и заканчивающееся в п163, что соответствует некоторому времени (s20) перед п63 (конец «Додувки/р2»); «Дутьевая головка устраняет взаимовлияние 1 с отставителем/м25», что начинается в п163/е37/п72 и заканчивается в п71; 3) «Поднятие дутьевой головки устраняет взаимовлияние 2 с отставителем/м7», что начинается в п71/е21/п95 и заканчивается в п92; 4) «Поднятие дутьевой головки

устраняет взаимовлияние 3 с отставителем/т8», что начинается в п92/е5/п96 и заканчивается в п94 (фиг.8); 5) «Завершение поднятия дутьевой головки/т26», начинающееся в п94/е6/п74 и заканчивающееся в п73.

- Перемещение «Захваты размыкаются/М312 (фиг.6) завершается в момент п86 (предыдущего цикла т5), и спустя некоторое время (s28) после этого в узле п119 начинается «Отбрасывание назад (позиция готовности отставителя)/М22» и заканчивается в п118. В момент п106, который соответствует некоторому времени (s24) после п118, начинается перемещение «Ввод отставителя/М20», заканчивающееся в момент п105. Перемещение отставителя включает в себя ряд субперемещений: 1) «Ввод отставителя до взаимовлияния 1 с дутьевой головкой/т27», начинающееся в п106/е39/п76 и заканчивающееся в п75; 2) «Ввод отставителя до взаимовлияния 2 с дутьевой головкой/т9», начинающееся в п75/е22/п117 и заканчивающееся в п116; 3) «Ввод отставителя до взаимовлияния 3 с дутьевой головкой/т10», начинающееся в п116/е19/п132 и заканчивающееся в п131; 4) «Завершение ввода отставителя/т28», начинающееся в п131/е20/п78 и заканчивающееся в п77/е40/п105 (фиг.8). Выявлен ряд конфликтных ситуаций: 1) «Дутьевая головка сталкивается с отставителем/с9», что будет происходить, если п75 опережает по времени п71; 2) «Дутьевая головка сталкивается с отставителем/с14», что будет происходить, если п116 опережает по времени п92; 3) «Дутьевая головка сталкивается с отставителем/с15» (фиг.8), что будет происходить, если п131 опережает по времени п94. В момент п80, который соответствует некоторому времени (s18) после п105 (конец «Ввода отставителя/М20»), перемещение «Захваты открываются/М11» заканчивается в п79/е51/п120. В момент п68 начинается перемещение «Черновые формы открываются/М10», заканчивающееся в п67/е50/п122. Это перемещение включает в себя ряд субперемещений: 1) «Формы открываются до точки освобождения/т29», начинающееся в п68/е49/п121 и заканчивающееся в п120/е4/п64; 2) «Формы открываются до освобождения изделия/т6», начинающееся в п64 и заканчивающееся в п130/е48/п123; 3) «Завершение открытия форм/т31», начинающееся в п123 и заканчивающееся в п122/е50/п67. В момент п108, спустя некоторое время (s19) после п79, в конце перемещения «Зажимы замыкаются/М11» осуществляется перемещение «Отвод отставителя/М21», завершающееся в п107 (фиг.9). Это перемещение также включает в себя ряд субперемещений: 1) «Отвод отставителя через зону взаимовлияния 1/т13», начинающееся в п108/е41/п138 и заканчивающееся в п133; 2) «Отставитель освобождает изделие из формы/т30» (фиг.9), начинающееся в п133/е57/п82 и заканчивающееся в п81; 3) «Отвод отставителя через зону взаимовлияния 2/т24», начинающееся в п81/е23/п135 и заканчивающееся в п13; 4) «Отвод отставителя через зону взаимовлияния 3/т36», начинающееся в п13/е58/п137 и заканчивающееся в п136; 5) «Завершение отвода отставителя/т37», начинающееся в п136/е59/п88 и заканчивающееся в п87/е42/п107. Конфликтная ситуация «Формы сталкиваются с отставителем/с11» будет возникать, если п82 опережает п130.
- Наконец, в конце перемещения «Отвод отставителя/М21 (п107/е46/п115) осуществляется перемещение «Охлаждение подвесного приемного стола/d6», продолжающееся до п114. В момент п174, спустя некоторое время (s12) после п107 осуществляется перемещение «Приемный стол в верхнем положении/р8», продолжающееся до п18. Спустя некоторое время (s33) после этого, в п84/е78/п176/е47/п114 заканчивается «Полный процесс/d13», заканчивается «Охлаждение подвесного приемного стола/d6» и в п83 заканчивается перемещение «Зажимы открываются/М12».

Хотя в целях иллюстрации выше описана одна конкретная конфигурация машины для формования выдуванием, следует иметь в виду, что имеется ряд конфигураций, которые применяются пользователями машин, в том числе формование выдуванием и прессовыдувное формование, причем для каждого пользователя разрабатываются различные конкретные процессы, которые могут в некоторой степени отличаться друг от друга. Специалист в данной области техники на основе проиллюстрированной

конфигурации может определить диаграмму ограничений для своей реальной конфигурации.

Следующим этапом является преобразование данной сетевой диаграммы ограничений в представление, которое является идеальным для автоматизированного формулирования и решения задач графического синтеза и анализа с помощью компьютера. В предпочтительном варианте осуществления изобретения использовано матричное алгебраическое представление сетевой модели ограничений, однако могут использоваться и другие формы математических представлений. Матрица  $F$  инцидентности с ветвлением может быть сформирована следующим образом:

1. Пронумеровать ветви в сетевой диаграмме ограничений (СДО) от 1 до  $M_b$ , где  $M_b$  - общее количество ветвей в сети. Порядок присвоения номеров ветвей произволен.

2. Пронумеровать узлы в СДО от 1 до  $N_n$ , где  $N_n$  - общее количество сетевых узлов. Порядок присвоения номеров узлов произволен.

3. Сформировать первую строку матрицы  $F$ , состоящей из  $M_b$  строк и  $N_n$  столбцов, путем ввода значения 1 (положительной единицы) в столбец, соответствующий узлу-источнику для первой ветви, и значения -1 (отрицательной единицы) в столбец, соответствующий узлу-адресату для первой ветви, и нулей для всех других столбцов.

4. Сформировать строки с второй по  $M_b$ -ю матрицы  $F$  путем повторения процедуры, описанной на этапе (3), для второй, третьей и т.д. вплоть до  $M_b$  ветви в сети.

В результате будет получена матрица  $F$ , состоящая из  $M_b$  строк и  $N_n$  столбцов, которая почти полностью заполнена нулями, за исключением одной записи «1» и одной записи «-1» в каждой строке.

В качестве конкретного примера на фиг.10 показана СДО для простой сетевой модели. Сеть имеет  $M_b=7$  ветвей и  $N_n=6$  узлов. Матрица  $F$  инцидентности с ветвлением для данной сети будет, таким образом, иметь 7 строк и 6 столбцов. Для этой модели, использующей номера ветвей и узлов, показанные на фиг.3, матрица  $F$  будет иметь вид:

$$F = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Каждая ветвь  $i$  в сетевой модели ограничений представляет пару соотношений в следующей форме:

$$t_{\text{адресата},i} - t_{\text{источника},i} \leq \delta_{\text{max},i} \quad (2)$$

$$t_{\text{адресата},i} - t_{\text{источника},i} \geq \delta_{\text{min},i} \quad (3)$$

где  $t_{\text{адресата},i}$  - время, соответствующее узлу адресата  $i$ -ой ветви;

$t_{\text{источника},i}$  - время, соответствующее узлу источника  $i$ -ой ветви;

$\delta_{\text{max},i}$  - максимально допустимая продолжительность ветви для  $i$ -ой ветви;

$\delta_{\text{min},i}$  - минимально допустимая продолжительность ветви для  $i$ -ой ветви.

Определим вектор  $t$  узловых времен, где  $j$ -ый элемент  $t$  есть время, соответствующее  $j$ -ому сетевому узлу. Обозначая  $i$ -ю строку матрицы  $F$  инцидентности с ветвлением через  $F_i$ , уравнения (2) и (3) можно переписать в виде:

$$- F_i t \leq \delta_{\text{max},i} \quad (4)$$

$$- F_i t \geq \delta_{\text{min},i} \quad (5)$$

Этот результат вытекает из того факта, что матричное перемножение  $i$ -ой строки  $F_i$  матрицы ограничений на вектор  $t$  узлового времени осуществляет выбор только времен, соответствующих узлу источника и узлу адресата, поскольку все другие записи в строке равны нулю. В соответствии с общепринятой практикой значение положительной единицы

присваивается элементу, соответствующему узлу источника, а значение отрицательной единицы присваивается узлу адресата.

Поскольку уравнение (3) и уравнение (4) справедливы для каждой ветви в сети, то фундаментальные уравнения матрицы ограничений могут быть записаны в следующей форме:

$$- Ft \leq \delta_{\max,i} \quad (6)$$

$$- Ft \geq \delta_{\min,i} \quad (7)$$

Для ветвей, которые не имеют верхнего предела по своей продолжительности, значение  $\delta_{\min,i}$  устанавливается на «минус бесконечность». Для ветвей, которые должны быть точно согласованы с целевым значением, как верхний предел, так и нижний предел устанавливаются равными целевому значению  $\delta_{\text{целевое},i}$ .

Фундаментальные уравнения матрицы ограничений (уравнения (6) и (7)) преобразуются с учетом трех типов дополнительных ограничений. Эти три типа ограничений следующие:

1. Продолжительность ветви для всех ветвей циклов должна быть одинаковой. Это требуется для реализации регулярного циклового периода в системе в целом.

2. Продолжительность ветви для каждого субперемещения должна оставаться постоянной долей продолжительности ветви по отношению к ее соответствующей основной ветки перемещения.

3. Абсолютное время события для одного узла сети должно быть установлено на желательное опорное значение (в типовом случае равно нулю).

Эти требования могут быть выражены в терминах ранее определенной матрицы  $F$  инцидентности с ветвлением в следующем виде:

Каждая ветвь цикла должна иметь продолжительность, равную периоду  $T$  цикла, и поэтому независимо от конкретного значения периода цикла все  $N_t$  ветвей цикла должны иметь одну и ту же продолжительность ветви. Обозначим номера ветвей, соответствующие ветвям цикла множеством  $\{i_1, i_2, \dots, i_{N_t}\}$ . Тогда продолжительность  $k$ -ой ветви цикла может быть выражена следующим образом:

$$- F_{i_k} t = \delta_{i_k} \quad (8)$$

где  $F_{i_k}$  представляет строку  $i_k$  матрицы  $F$  инцидентности с ветвлением.

Регулярное ограничение длительности ветви тогда обеспечивается путем установки каждой из продолжительностей ветвей цикла равной длительности первой ветви цикла следующим образом:

$$\begin{bmatrix} -F_{i_2} \\ -F_{i_3} \\ \vdots \\ -F_{i_{N_t}} \end{bmatrix} t = \begin{bmatrix} -F_{i_1} \\ -F_{i_1} \\ \vdots \\ -F_{i_1} \end{bmatrix} t \quad (9)$$

Что может быть переупорядочено для получения следующего соотношения:

$$\begin{bmatrix} -F_{i_2} + F_{i_1} \\ -F_{i_3} + F_{i_1} \\ \vdots \\ -F_{i_{N_t}} + F_{i_1} \end{bmatrix} t = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Определим матрицу  $A_t$ , представляющую левую часть уравнения (10), таким образом, что

$$A_t = \begin{bmatrix} -F_{i_2} + F_{i_1} \\ -F_{i_3} + F_{i_1} \\ \vdots \\ -F_{i_{N_t}} + F_{i_1} \end{bmatrix} \quad (11)$$

Уравнение (10) может быть записано в более компактной форме как

$$A_{\epsilon} t = 0 \quad (12)$$

Если продолжительность ветви для ветви основного перемещения изменяется, то ветви субперемещений (если они имеются), связанные с данной ветвью, должны быть пропорциональным образом масштабированы.

- 5 Для представления данного множества вспомогательных ограничений сначала необходимо определить некоторую запись. Обозначим номера ветвей, соответствующие ветвям основного перемещения (включая только ветви, которые связаны с ветвями субперемещений), множеством  $\{M_1, M_2, \dots, M_{Nm}\}$ , где  $Nm$  - общее количество ветвей основных перемещений, которые имеют связанные с ними ветви субперемещений.
- 10 Обозначим ветви субперемещений, связанные с  $k$ -ой ветвью основного перемещения, множеством  $\{m_{k1}, m_{k2}, \dots, m_{kN_k}\}$ , где  $N_k$  - общее количество ветвей субперемещений, связанных с  $k$ -ым основным перемещением. Каждая длительность ветви субперемещения представляет фиксированную долю продолжительности связанной с ней основной ветви. Обозначим через  $\alpha_{kj}$  эту фиксированную долю для  $j$ -ой ветви субперемещения, связанной с
- 15  $k$ -ой ветвью основного перемещения.

Требуемое множество ограничений, связанных с  $k$ -ой ветвью основного перемещения, можно теперь представить с помощью следующего уравнения:

$$20 \begin{bmatrix} F_{m_{k1}} - \alpha_{k1} F_{M_k} \\ F_{m_{k2}} - \alpha_{k2} F_{M_k} \\ \vdots \\ F_{m_{kN_k}} - \alpha_{kN_k} F_{M_k} \end{bmatrix} t = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (13)$$

Определяя матрицу  $A_{Mk}$  для представления левой части уравнения (13) в следующем виде:

$$25 \quad A_{Mk} = \begin{bmatrix} F_{m_{k1}} - \alpha_{k1} F_{M_k} \\ F_{m_{k2}} - \alpha_{k2} F_{M_k} \\ \vdots \\ F_{m_{kN_k}} - \alpha_{kN_k} F_{M_k} \end{bmatrix} \quad (14)$$

можно переписать уравнение (13) более компактно в следующем виде:

$$30 \quad A_{Mk} t = 0 \quad (15)$$

Далее, определяя матрицу  $A_m$  как

$$35 \quad A_m = \begin{bmatrix} A_{M1} \\ A_{M2} \\ A_{M3} \\ \vdots \\ A_{M_{Nm}} \end{bmatrix} \quad (16)$$

полное множество дополнительных ограничений субперемещений можно выразить посредством следующего уравнения:

$$40 \quad A_m t = 0 \quad (17)$$

В сети выбирается один опорный узел, и абсолютное время, соответствующее возникновению этого события, устанавливается в нуль. Обозначая номер опорного узла как  $k$ , данное ограничение можно выразить следующим образом:

$$45 \quad A_z t = 0 \quad (18)$$

где  $k$ -ый элемент вектора-строки  $A_z$  имеет значение 1, а все другие его элементы равны нулю.

- 50 Наконец, определяется расширенная матрица  $A$  ограничений в следующем виде:

$$A = \begin{bmatrix} -F_r \\ A_t \\ A_m \\ A_z \end{bmatrix} \quad (19)$$

где  $F_r$  - сокращенная матрица инцидентности с ветвлением, образованная путем исключения всех избыточных теперь строк в  $F$ . Более конкретно, строки, соответствующие всем ветвям субперемещений, и все ветви, кроме первой ветви цикла, исключаются из  $F$  для формирования  $F_r$ . Длина  $N_b + N_t + N_M + 1$  векторов  $b_{\min}$  и  $b_{\max}$  определяется следующим образом:

$$b_{\min} = \begin{bmatrix} \delta_{\min} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (20)$$

$$b_{\max} = \begin{bmatrix} \delta_{\max} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (21)$$

Полное множество сетевых ограничений может затем быть выражено путем комбинирования уравнений (6), (7), (12), (17), (20) и (21) в единую расширенную систему уравнений ограничений:

$$At \leq b_{\max} \quad (22)$$

$$At \geq b_{\min} \quad (23)$$

В правой части уравнения (22) и уравнения (23) конечные  $N_t + N_M + 1$  элементов векторов  $b_{\max}$  и  $b_{\min}$  соответственно всегда равны нулю. Целью является отыскание множества моментов времени событий (графика), которое удовлетворяет всем требуемым сетевым ограничениям. В принципе, будет иметься более одного, а в действительности, бесконечное множество таких графиков, которые подходят под сетевые ограничения. Поэтому используется методология, основанная на ограниченной оптимизации, для выбора наиболее подходящего графика из множества доступных возможных вариантов. Обобщенный метод может быть оптимизирован для удовлетворения различных практических проблем путем осуществления целесообразного выбора критерия оптимизации. Некоторые неформально установленные критерии оптимизации, которые представляют практический интерес, включают следующее:

1. Минимизация периода цикла с определенными продолжительностями термического процесса

2. Максимизация продолжительностей конкретного термического процесса, например, подогрева, на длительности фиксированного периода цикла.

3. Минимизация истирания и задира за счет замедления механизмов в максимально возможной степени при фиксированном периоде цикла и определенном множестве продолжительностей термического процесса.

Оптимальные графики, использующие эти критерии, легко получить с использованием новой методологии, которая была разработана.

В терминах представления матричной алгебраической модели, описанной выше, общая задача, которую необходимо решить, состоит в нахождении вектора  $t$  длиной  $N_n$  узловых времен, который удовлетворяет следующему условию:

$$\text{Минимизировать } f(t) \quad (24)$$

при удовлетворении следующих ограничений:

$$At \leq b_{\max}$$

$$At \geq b_{\min}$$

Скалярная функция  $f$ , называемая здесь целевой функцией, определяет критерий для различения наиболее желательного из множества возможных решений задачи. Это решение известно как Задача ограниченной оптимизации (в противоположность Задаче

неограниченной оптимизации), потому что нам необходимо найти оптимальное решение, но при ограничении множества возможных решений теми, которые удовлетворяют определенному множеству ограничений. В этом случае ограничения выражаются как множество линейных неравенств.

- 5 Широкое разнообразие практических критериев может быть выражено в терминах квадратичной целевой функции формы. В действительности, постоянный член  $f_0$  не строго необходим, поскольку он не влияет на местоположение минимумов и максимумов в системе. Он сохранен здесь только потому, что далее позволит дать значению целевой функции более очевидную интерпретацию, как мера различия действительных продолжительностей ветвей от желательных целевых значений.

$$F(t) = \frac{1}{2} t^T H t + C t + f_0 \quad (25)$$

Как будет показано более подробно ниже, по существу задачи построения графиков для машины в действительности могут быть выражены с использованием квадратичной целевой функции формы, определенной уравнением (25).

- 15 Задача оптимизации, которая характеризуется комбинацией квадратичной целевой функции и линейных ограничений, известна как задача квадратичного программирования. Множество различных быстродействующих и надежных численных алгоритмов существует для решения задачи квадратичного программирования. В некоторых практических случаях (например, минимизации периода цикла) критерии оптимизации могут быть выражены с использованием линейной целевой функции формы, определяемой следующим соотношением:

$$F(t) = C t + f_0 \quad (26)$$

- 25 Эта комбинация линейной целевой функции с линейными ограничениями известна как задача линейного программирования. Задачи линейного программирования во многих случаях могут быть решены с меньшими вычислительными затратами и поэтому даже с более высоким быстродействием, чем задачи квадратичного программирования, но решающая функция квадратичного программирования, используемая для сохранения линейных и квадратичных целевых функций, является наиболее экономичным решением.

- 30 Основная идея Общей методологии синтеза целевого графика (ОМСЦГ) состоит в присвоении целевого значения продолжительности каждой ветви в сети. Эти целевые значения представляют идеальное множество значений, которые пользователю было бы желательно получить для всех продолжительностей ветвей. Ввиду множества сетевых ограничений, которые должны быть удовлетворены, в действительности может оказаться невозможным получить все целевые значения продолжительности ветвей. Поэтому ОМСЦГ отыскивает график, который согласует целевые значения с максимально возможной точностью.

ОМСЦГ реализует свои возможности в обеспечении единого подхода к множеству задач за счет использования четырех главных принципов:

- 40 1. Квадратичная целевая функция - квадратичная целевая функция обеспечивает математически точную запись графика, причем степень близости с целевым значением является максимально возможной.
2. Жесткие пределы - жесткие верхний и нижний пределы могут быть установлены для допустимых продолжительностей для каждой ветви сети.
- 45 3. Блокирование - продолжительности конкретных ветвей могут блокироваться (фиксироваться), так что они реализуются с высокой точностью в итоговом графике.
4. Решающая функция квадратичного программирования (КП) - использование надежной численной решающей функции квадратичного программирования.

Каждый из вышеописанных принципов описан ниже более детально.

- 50 Интуитивная запись графика, являющегося близким к целевому значению, должна быть выполнена математически точной, чтобы реализовать автоматическое численное решение. Для этой цели определим целевую функцию  $f(t)$  в следующем виде:

$$f(t) = \sum_{i=1}^{M_p} (w_i (\delta_i(t) - \delta_{t_i}))^2 \quad (27)$$

где  $w_i$  - постоянная, которая взвешивает важность отклонения между целевой и действительной продолжительностью для  $i$ -ой сетевой ветви;

$\delta_i(t)$  - продолжительность  $i$ -ой сетевой ветви как функция  $t$ , вектор длиной  $N_n$  моментов времени узловых событий (график);

5  $\delta_t$  - продолжительность ветви для  $i$ -ой сетевой ветви;

$N_b$  - общее число сетевых ветвей.

Таким образом степень сходства с целевым значением записывается как взвешенная сумма квадратичных отклонений между целевой и действительной продолжительностями ветвей. Следует отметить, что для двумерного или трехмерного случая ( $N_b=2$  или  $N_b=3$ )

10 и  $w_i=1$  уравнение (27) выражает известную формулу для евклидова расстояния.

Отметим, что продолжительность ветви для продолжительности  $i$ -ой ветви может быть выражена в терминах  $i$ -ой строки матрицы инцидентности с ветвлением в следующем виде:

$$\delta_i = -F_i t,$$

15 Уравнение (27) может быть выражено в терминах ранее определенной матричной алгебраической модели системы в следующем виде:

$$f(t) = (W(Ft + \delta))^T (W(Ft + \delta)) \quad (28)$$

где  $W$  - весовая матрица,

$\delta$  - вектор целевых длительностей ветвей,

20  $F$  - матрица инцидентности с ветвлением,

$T$  - вектор длины  $N_n$  моментов времени узловых событий (график),

Верхний индекс  $T$  обозначает транспонирование матрицы.

Следуя процедуре алгебраического преобразования, уравнение (28) можно переписать в следующем виде:

$$25 \quad f(t) = t^T F^T W^T W F t + 2\delta_t^T W^T W F t + \delta_t^T W^T W \delta_t \quad (29)$$

Уравнение (29) можно затем выразить в стандартной форме при условии использования уравнения (25) для квадратичной целевой функции:

$$f(t) = \frac{1}{2} t^T H t + C t + f_0 \quad (30)$$

30 где

$$H = 2F^T W^T W F$$

$$C = 2\delta_t^T W^T W F$$

$$f_0 = \delta_t^T W^T W \delta_t$$

Некоторая гибкость допускается в определении элементов диагональной матрицы 35 весов. Простейшим вариантом является установление каждого из весов  $w_i$  ветвей на значение, равное 1, так что матрица  $W$  становится единичной матрицей. Это дает равный вес абсолютной ошибке (отклонению) между желательным и целевым значением продолжительности для всех сетевых ветвей. Хотя в некоторых случаях метод абсолютной ошибки может быть приемлемым, в более общем случае учитывается относительная 40 ошибка, причем в этом методе ошибка для каждой ветви нормируется ее типовой продолжительностью. Таким образом, при использовании метода относительной ошибки отклонение величиной 1 мс для ветви, типовая продолжительность которой равна 10 миллисекунд, рассматривается как имеющее ту же важность, что и отклонение величиной в 1 секунду для ветви, типовая продолжительность которой равна 10 секунд. Для метода 45 относительной ошибки определим матрицу  $W$  весов следующим образом:

$$50 \quad W = \begin{bmatrix} 1 / (\delta_{high1} - \delta_{low1}) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 / (\delta_{high2} - \delta_{low2}) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 / (\delta_{highN_b} - \delta_{lowN_b}) \end{bmatrix} \quad (31)$$

где  $\delta_{high1}$  - крупномасштабное значение для  $i$ -ой сетевой ветви,

$\delta_{low1}$  - мелкомасштабное значение для  $i$ -ой сетевой ветви.

Часто бывает полезным иметь возможность ограничить допустимые диапазоны конкретных продолжительностей ветвей. Примерами ситуаций, требующих этой возможности, могут служить механизмы, которые имеют нижнюю границу продолжительности своего перемещения, и этапы способа, которые имеют нижнюю и/или верхнюю границы своей продолжительности. Эти границы устанавливаются в ОМСЦГ путем присвоения соответствующих значений элементам в векторах  $b_{\min}$  и  $b_{\max}$ , образующих правые части матричных соотношений для ограничений, заданных уравнением (24).

В некоторых случаях желательно определить, что конкретные продолжительности ветвей должны быть точно равны целевым значениям. Это будет называться фиксацией (блокировкой) целевого значения. Например, в некоторых случаях необходимо фиксировать продолжительность ветвей цикла, потому что период цикла аппаратуры, находящейся выше по потоку обработки, например дозатора, невозможно отрегулировать простым способом. Эта возможность реализуется в ОМСЦГ путем установки значения соответствующих элементов верхней и нижней границ (векторов  $b_{\min}$  и  $b_{\max}$ , образующих правые части матричных соотношений для ограничений, заданных уравнением (24)) как равных целевому значению. Матрица  $H$  должна быть положительно определенной. Во избежание усложнений с этой численной задачей малые веса могут быть присвоены даже тем ветвям, продолжительности которых не представляют интереса, или может быть использована решающая функция, которая специальным образом осуществляет обработку случая, когда  $H$  является только положительно полуопределенной.

На основе либо предшествующего опыта, либо конкретных испытаний желательные продолжительности всех этапов термической обработки (подогрев, додувка и т.д.) могут быть известны и для изготовителя бутылок может оказаться нежелательным изменение этих значений. Если продолжительность ветви периода цикла не фиксирована, продолжительности ветвей, относящихся к термической обработке, фиксированы, и продолжительности ветвей перемещений механизмов фиксированы на значении, соответствующем длительностям наиболее скоростных возможных перемещений механизмов, то целевая продолжительность для периода цикла может быть установлена на нуль (указывая, что желательным является установка ее на минимально возможное значение). Решающая функция квадратичного программирования позволит тогда найти график с самым коротким возможным периодом цикла, совместимым со всеми сетевыми ограничениями. Эти ограничения включают фиксированные длительности термических процессов и длительности перемещений механизмов совместно с требованиями предотвращения столкновений, выдерживания надлежащей последовательности и т.д.).

Также является возможным, что конкретный график может обеспечить достижение требуемого периода цикла и желательного множества длительностей процессов термообработки, но при этом может потребовать перемещения некоторых механизмов быстрее, чем это строго необходимо для достижения указанных целей. Может оказаться желательным только управление механизмами лишь с такой скоростью, которая абсолютно необходима для достижения других желательных целей. Это позволило бы снизить средний и пиковый ток в серводвигателях (и уменьшить связанный с этим нагрев электродвигателей) и, возможно, с другой стороны, уменьшить истирание и задиры в системе. Для этого период цикла и другие длительности ветвей термообработки должны фиксироваться на их желательных значениях. Все продолжительности ветвей перемещений будут не фиксированными, а их целевые значения будут установлены на относительно большое значение. Решающая функция квадратичного программирования будет тогда иметь свободу в ускорении работы механизмов, если это необходимо для удовлетворения ограничений для периода цикла и длительностей термообработки, а в противном случае это привело бы к увеличению длительности перемещений в максимально возможной степени.

Если желательные целевые значения не могут быть точно достигнуты, пользователю может быть дана соответствующая индикация того, какие пределы должны быть снижены,

чтобы более точно достичь поставленной цели. Это может быть сделано путем анализа значений множителей Лагранжа, вычисленных в точках оптимального графика. Множители Лагранжа можно интерпретировать как частные производные целевой функции, взятые по элементам векторов  $b_{\min}$  и  $b_{\max}$ , образующих правые части матричных соотношений для ограничений, заданных уравнением (24). Таким образом, ненулевые значения для конкретных множителей Лагранжа указывают на то, что целевая функция будет либо возрастающей, либо убывающей (в зависимости от алгебраического знака множителя Лагранжа) соответственно смене знака соответствующего элемента векторов  $b_{\min}$  и  $b_{\max}$ . Такие ограничения называют активными. Другие ограничения, для которых множители Лагранжа равны нулю, называют неактивными. Путем соответствующего отображения для пользователя активных ограничений, ранжированных по относительной величине их значений множителей Лагранжа, пользователь будет информирован относительно того, какие границы накладывают наибольшие ограничения на достижение требуемого результата. Кроме того, знак множителя Лагранжа может быть использован для определения и затем для отображения пользователю, следует ли увеличить или уменьшить целевое значение (в случае заблокированной ветви), чтобы дополнительно улучшить возможности достижения целевых значений для неблокированных ветвей. Большинство алгоритмов оптимизации с ограничениями обеспечивают возможности вычисления значений множителей Лагранжа (или их вычисления в качестве составной части обычных операций), так что эта дополнительная информация может быть использована для предоставления пользователю при необходимости дополнительных руководящих указаний.

Если пользователь чрезмерно ограничивает систему, то может оказаться, что отсутствует целесообразное решение задачи квадратичного программирования, которая была поставлена. В таком случае важно распознать, что задача неразрешима, и смягчить граничные значения в достаточной степени, чтобы возникла возможность получения допустимого решения. Решающие функции квадратичного программирования в типовом случае способны распознать случаи отсутствия допустимого решения и установления соответствующего флага. Этот флаг может быть использован программным обеспечением, которое реализует ОМСЦГ, чтобы выдать подсказку пользователю уменьшить какие-либо из ограничений в максимально возможной степени.

Матричное алгебраическое представление (МАП) также позволяет проанализировать предлагаемый график, чтобы выявить потенциальные повреждения или нежелательные нарушения ограничений. Эта возможность обеспечивает механизм для выполнения интеллектуальной оценки ввода по запросу изменений пользователем моментов времени событий, что выходит далеко за пределы обычной проверки верхней и нижней границы.

Основной целью методологии анализа графика является обеспечение возможности проверки предлагаемого графика на предмет нарушения ограничений и затем для уведомления о любых нарушениях, которые могут быть обнаружены. Данный метод также позволяет уведомлять о нарушениях таким путем, чтобы позволить пользователю понять последствия нарушения и, насколько это возможно, указать на средство предотвращения таких нарушений.

Реальная проверка нарушений ограничений в вычислительном смысле достаточно проста, использует только матричное умножение и вычитание. Для получения в целом требуемых функциональных возможностей, имеются еще ряд дополнительных факторов, которые также должны приниматься во внимание. Дополнительная сложность возникает, в первую очередь, из-за того факта, что можно планировать моменты времени для сетевых событий только для подмножества узлов в полной модели системы. Это подмножество узлов называют группой независимых узлов. Моменты времени для остальных, зависимых узлов затем автоматически вычисляются из моментов времени для независимых узлов и известных фиксированных продолжительностей ветвей.

Общая методология в этом случае состоит из следующих компонентов:

1. Решение для моментов времени, соответствующих зависимым узлам.

2. Обнаружение нарушений ограничений.
3. Диагностика и категоризация нарушений.

Моменты времени, соответствующие зависимым узлам, могут быть разрешены в терминах ранее определенного множества ограничений с использованием следующей процедуры.

1. Сформировать подмножество ограничений равенства в следующем виде:

$$A_{eq}t = b_{eq} \quad (32)$$

путем сохранения только тех строк в  $A$  и  $b$  (как определено уравнениями (19) и (20) соответственно), для которых верхняя и нижняя границы равны. Заметим, что верхняя и нижняя границы для ветвей с известными фиксированными продолжительностями обе будут устанавливаться на это известное фиксированное значение. Верхняя и нижняя границы этих ветвей с фиксированными продолжительностями поэтому будут равны и строки матрицы  $A$ , соответствующие этим ветвям, вместе с дополнительными ограничениями будут поэтому сохраняться в  $A_{eq}$ . В типовом случае ветви с известными фиксированными значениями будут соответствовать ветвям перемещений, цикличности и одновременности. Для того чтобы иметь хорошо сформулированную задачу, размерность строки  $A_{eq}$  должна быть больше или равна количеству независимых моментов времени узлов. Требуется, чтобы достаточному количеству ветвей были присвоены фиксированные значения, чтобы это условие выполнялось.

2. Путем переупорядочения столбцов матрицы  $A_{eq}$  сформировать разделенную на блоки матрицу  $A_p$  инцидентности, в которой первые  $N_1$  столбцов матрицы  $A_p$  соответствуют независимым моментам времени узлов. Сформировать разделенный вектор  $t_p$  моментов времени узлов путем сортировки столбцов вектора  $t$  так, чтобы соответствовать новому порядку столбцов в матрице  $F_p$ . Затем уравнение (32) может быть записано в следующем виде:

$$\begin{bmatrix} A_{F_I} A_{F_D} \\ \dots \\ t_{F_D} \end{bmatrix} = b_{eq} \quad (33)$$

3. Переупорядочить уравнение (33) для формирования системы линейных уравнений:

$$A_{F_D} t_{F_D} - (b_{eq} - A_{F_I} t_{F_I}) = 0 \quad (34)$$

4. Присвоить текущие значения независимым моментам времени узлов и элементам  $b_{eq}$ , соответствующим фиксированным продолжительностям ветвей, и решить переопределенную систему уравнений (34) для  $t_{F_D}$ . Это может быть сделано с использованием стандартных численных методов, доступных для решения переопределенных систем линейных уравнений, например, линейной решающей функции наименьших квадратов. Для непротиворечивого множества фиксированных продолжительностей ветвей и надлежащим образом построенной сетевой диаграммы ограничений может быть получено точное решение этой переопределенной задачи. Т.е. без какой-либо ошибки может быть найден вектор зависимых моментов времени  $t_{F_D}$  узлов, который удовлетворяет уравнению (34). Если точное решение не может быть найдено, то пользователь должен быть уведомлен соответствующим образом, чтобы можно было поправить ситуацию. Следует заметить, что должен быть включен нулевой опорный узел с независимыми моментами времени и совместимый с определением, обеспечиваемым уравнением (18).

6. Элементы векторов  $t_{F_D}$  и  $t_{F_I}$  повторно пересортировываются в их исходный порядок соответственно строкам уравнений (22) и (23) для формирования вектора  $t_{proposed}$  моментов времени, образующего предлагаемый график.

После того как зависимые моменты времени вычислены и предлагаемый график стал доступным, действительное обнаружение нарушений ограничений является относительно простым. Пусть предлагаемый график задан вектором  $t_{proposed}$  моментов времени узлов. Из уравнения (22) и уравнения (24) проверяемые условия задаются системой неравенств:

$$At_{proposed} - b_{max} \leq 0 \quad (35)$$

$$At_{proposed} - b_{min} \leq 0 \quad (36)$$

Если неравенства, заданные соотношениями (35) и (36), не полностью удовлетворяются, то предлагаемый график нарушает по меньшей мере одно ограничение.

Каждая строка в неравенствах (35) и (36) представляет конкретное системное ограничение. Пояснительный текст и уровень значимости могут соответственно быть поставлены в соответствие с каждой строкой в этих соотношениях. Предлагаемый график тогда должен проверяться путем оценки соотношений (35) и (36). Номера любых строк, которые не удовлетворяют требуемым неравенствам, в данном случае дадут показатель для вызова и отображения соответствующего текста сообщения об ошибке. Уровень значимости может быть использован для сортировки множества нарушений ограничений в порядке их значимости и может также использоваться для вызова соответствующего кода цвета или иного атрибута (мерцание) на графическом пользовательском интерфейсе.

Это установление соответствующего текста и уровня значимости может осуществляться автоматическим способом. Для пояснения того, как может быть выполнено такое автоматическое назначение, напомним, что строки в соотношениях (35) и (36) получают из сетевых ветвей. Нарушение, соответствующее каждому типу ветви, может поэтому являться атрибутом, который присваивается конкретному типу ветви и затем дополнительно определяется для конкретной ветви. Например, для ветви конфликтной ситуации можно автоматически определить текст сообщения о нарушении вида «возникает конфликт между переворотом и отражательной плитой», причем этому событию может также быть присвоен уровень значимости, например, в виде числа от 1 до 10, причем число 10 соответствует самому серьезному нарушению. Соответствующая строка в соотношениях (35) и (36) будет затем наследовать эти предписания из ветвей, из которых они исходят. Альтернативно, если сетевая диаграмма ограничений полностью определена для конкретного процесса формования, индивидуальные сообщения могут вводиться вручную, или автоматически генерируемый устанавливаемый по умолчанию набор может редактироваться, и получаемые в результате данные могут сохраняться в таблице для каждого из конечного числа нарушений, которые могут произойти. Хотя этот ручной подход может, следовательно, демонстрировать некоторое улучшение по читаемости сообщений, он также может быть подвержен ошибкам, и поэтому должен обновляться, если какие-либо изменения сделаны в сетевой диаграмме ограничений. Поэтому предпочтительным является автоматический метод.

Согласно предшествующему уровню техники работа одного из этих механизмов/процессов управляется путем включения механизмов и т.п. средств и их отключения при выбранных углах в пределах 360-градусного цикла. Включение механизма представляет собой событие, и выключение механизма также является событием. На фиг.12 показан обычный список временных событий с соответствующими им моментами времени включения и выключения для многосекционной машины. Данный список может быть получен от средств управления машиной.

Развернутый график может быть преобразован в соответствующий график замкнутого цикла с использованием известного периода цикла и вычисления углов событий по модулю в пределах 360 градусов (угол события = равен по модулю 360 (время события развернутого цикла/период цикла)  $\times$  360). Для перехода от графика замкнутого цикла к графику развернутого цикла исходная сетевая диаграмма ограничений дополняется новым множеством направленных ветвей, называемых ветвями развертывания. Часть графа, сформированная из ветвей развертывания, вместе с ветвями перемещения и последовательности, и любыми узлами, присущими этим ветвям, будет называться графом развертывания цикла. Пример графа развертывания цикла показан на фиг.12, которая иллюстрирует цикл прессовыводного формования. Граф развертывания цикла ((ГРЦ) создается так, чтобы иметь следующие свойства.

Свойство 1. ГРЦ является связным графом.

Свойство 2. Узлы ГРЦ являются точным множеством всех узлов-источников и узлов-

адресатов для всех ветвей перемещений и процессов в сетевой диаграмме ограничений (СДО). Это означает, что все углы «включения» и «выключения» времязадающего барабана (контроллера последовательности) представлены на графе.

Свойство 3. Каждая ветвь в ГРЦ является частью цикла (путь от некоторого события к следующему периодическому повторению этого события). Например, самая нижняя линия на фиг.11 проходит следующим образом: M120 («Размыкание зажимов»), M110 («Замыкание зажимов»), M210 («Отвод отставителя») и M120. Аналогичным образом следующая линия выше проходит следующим образом: M210 («Отвод отставителя»), M220 («Отбрасывание назад»), M200 («Подвод отставителя») и M210. Следующая линия выше проходит следующим образом: M190 («Подъем дутьевой головки»), M180 («Опускание дутьевой головки»), p2 («Додувка») и M190. Следующая линия выше проходит следующим образом: MP1000 («Открытие форм для выдувания»), M240 («Заккрытие форм для выдувания»), M1000. Следующая линия выше проходит следующим образом: M3100 («Плунжер к позиции загрузки»), M230 («Прессование»), M80 («Замыкание горловых колец»), M70 («Замыкание горловых колец») и M100. Следующая линия выше проходит следующим образом: MMP90 («Заккрытие черновых форм»), M230, M40 («Плунжер в положение переворота»), M60 («Переворот»), M70 («Обратный поворот»), M90, и первая линия слева проходит следующим образом: MP150 («Подъем отражательной плиты»), M140 («Опускание отражательной плиты»), M230, M150 («Подъем отражательной плиты»).

Свойство 4. Ветви, соответствующие узлам ГРЦ, или объединяются, или расходятся, но не то и другое вместе. Т.е., если имеется более одной ветви, направленной к заданному узлу, то имеется только одна ветвь, исходящая из этого узла (объединение). Если имеется более одной ветви, исходящей из заданного узла, то будет иметься только одна ветвь, входящая в данный узел (расхождение).

Вышеуказанные свойства означают, что ГРЦ также имеет следующие дополнительные свойства:

Свойство 5. Любая последовательность из трех узлов, которую могут пересекать две взаимосвязанные ветви, следующие в направлении данной ветви, будут являться частью по меньшей мере одного общего цикла. Таким образом, каждый узел в ГРЦ находится между двумя другими событиями в циклической последовательности.

Свойство 6. Поскольку каждая ветвь в ГРЦ является частью цикла, она должна иметь меньшую длину, чем длительность одного периода.

Задача решается тогда последовательностью шагов, которые включают проверки того, что входные данные надлежащим образом упорядочены для обеспечения действительного решения.

1. Сформировать матрицу инцидентности с ветвлением для ГРЦ.

2. Разделить узлы в ГРЦ на две группы: независимые узлы, значения которых заданы во входном множестве узлов событий замкнутого цикла, и остальные зависимые узлы, углы событий которых еще неизвестны. Для надлежащим образом поставленной задачи все зависимые узлы должны быть соединены с независимым узлом с помощью ветви, продолжительность которой известна.

3. Присвоить известные углы входных событий независимым узлам в ГРЦ, которому они соответствуют.

4. Определить углы событий для зависимых узлов событий с использованием следующего уравнения:

$$\Theta_i = \text{mod} \left( \left( \Theta_j \pm \frac{d_{i-j}}{T_{\text{cycle}}} * 360 \right), 360 \right) \quad (37)$$

где

$\Theta_i$  - угол события, вычисляемый для i-го независимого узла,

$\Theta_j$  - зависимый узел, соединенный с i-ым узлом посредством ветви с известной временной продолжительностью  $d_{i-j}$ .

Алгебраический знак в уравнении (37) выбирается положительным, если зависимый узел находится ниже по потоку обработки относительно независимого узла, и

отрицательным - в противоположном случае.

5. Присвоить угол события для любых периодически повторяющихся узлов, равный значению для узла, который он повторяет (узел, с которым он соединен циклической ветвью в ГРЦ).

6. Проверить, находятся ли все углы событий в корректном циклическом порядке. Это делается путем проверки, что угол события, присвоенный каждому узлу, находится между значением любой пары, состоящей из непосредственно предшествующего, расположенного вверх по потоку обработки узла, и последующего, расположенного вниз по потоку обработки, соседнего узла.

7. Найти угловые длительности для всех ветвей в ГРЦ с использованием следующего уравнения:

$$\delta = \text{mod}(-F\Theta, 360) \quad (38)$$

где

F - матрица инцидентности с ветвлением для ГРЦ,

$\Theta$  - вектор углов узловых событий в ГРЦ,

$\delta$  - вектор угловых длительностей ветвей в ГРЦ.

8. Преобразовать вектор  $\delta$  угловых длительностей ветвей в вектор d временных длительностей с использованием следующего уравнения:

$$d = \delta / 360 * T \quad (39)$$

где T - период цикла.

9. Решить относительно времен узловых событий развернутого цикла с использованием стандартных численных методов возможно переопределенную систему:

$$-F_r t = \delta \quad (40)$$

где  $F_r$  - матрица инцидентности с ветвлением ГРЦ со столбцом, соответствующим опущенному нулевому опорному узлу. (Выбор нулевого опорного узла произволен, но должен быть согласованным с соответствующим выбором СДО.) Хотя приведенная выше система является переопределенной, решение по методу наименьших квадратов в действительности будет иметь нулевую ошибку, так как  $\delta$  находится в пространстве столбцов матрицы  $F_r$ . Это должно быть проверено, чтобы выявить наличие каких-либо вычислительных проблем.

10. Независимым узлам в СДО присваиваются значения с использованием соответствующих моментов времени событий развернутого цикла, которые определяются из уравнения (4). Зависимые узлы в СДО могут быть затем определены, как описано выше.

На фиг.13 представлена блок-схема, иллюстрирующая создание аналитического аппарата. Сначала необходимо определить сетевую диаграмму ограничений для процесса формования бутылок в многосекционной машине 60 (развернутый цикл, включающий последовательные этапы формирования капли стекломассы, ее доставки на участок черновой заготовки, перенос пульки с участка черновой заготовки на участок выдувания и удаление отформованной бутылки с участка выдувания). Затем необходимо преобразовать сетевую диаграмму ограничений в таблицу данных, которая представляет собой компиляцию существенных данных в диаграмме ограничений и включает в себя список всех ветвей и для каждой ветви указывает ее имя, тип, номер начального узла, номер конечного узла и т.д. Это может быть сделано вручную путем анализа графика диаграммы ограничений или с помощью компьютера с использованием компьютеризованного представления диаграммы ограничений. Следующий этап состоит в преобразовании таблицы данных в математическое представление 62, которое затем преобразуется в компьютеризованную модель 64 для ее оценки. В представленном варианте осуществления компьютеризованная модель основана на матричных математических выражениях, но также могут быть использованы и другие математические представления. В зависимости от свойств формуемой бутылки и процесса, используемого для изготовления бутылки (например, прессовыдувное формование, формование выдуванием), могут потребоваться различные таблицы данных. Как показано, некоторое количество таблиц данных («N» таблиц данных) могут быть сохранены в памяти и будут

вводиться по мере необходимости.

На фиг.14 показана часть компьютеризованной модели 64, с помощью которой осуществляется развертывание углов событий 360-градусного машинного цикла с получением моментов времени 66 событий процесса формования бутылок. В качестве  
 5 входных данных модели используются данные, загружаемые из блока управления 42 машиной (фиг.1) или т.п. средства или вводимые вручную с пульта управления, терминала и т.п., представляющие собой углы событий, моменты времени машинного цикла (время цикла для 360-градусного времязадающего барабана для многосекционной машины) и  
 10 длительности перемещений (длительности «М» для перемещаемых механизмов), а на выходе получают моменты времени событий в процессе формования бутылок. Следует отметить, что хотя углы событий и время машинного цикла обычно представляют собой доступные данные, получаемые из существующего рабочего файла, длительности перемещений должны быть определены для конкретного рабочего процесса.

Фиг.15 иллюстрирует использование данной компьютеризованной модели 64 для  
 15 анализа развернутого графика в зависимости от ограничений (блок 68) (предотвращение нарушений ограничений). Исходя из моментов времени событий, времени машинного цикла, длительностей перемещений, длительностей субперемещений (длительностей «т» (обозначенных малой «т») перемещений для перемещаемых механизмов), нижних пределов ветвей конфликтных ситуаций, нижних пределов последовательных ветвей и  
 20 границ «N» процессов термообработки в качестве входных данных, компьютеризованная модель может определить, будет ли иметь место нарушение ограничений (блок 70). Хотя понятие «ввод» означает, что вводимая информация становится доступной, она может обеспечиваться из различных источников. Например, углы событий и время машинного цикла могут быть доступными из существующего рабочего файла, в то время как  
 25 остальные входные данные должны вводиться в момент ввода таблицы данных на этапе 62 преобразования таблицы данных в математическое представление.

Всякий раз ввод данных может иметь диапазон значений, выбор из которого может делаться оператором, причем такой ввод данных должен включать в себя верхний и  
 30 нижний пределы этих входных данных, и предусматривать выбор: либо настройка должна быть фиксирована на конкретном значении, либо может устанавливаться произвольно на любом значении в заданных пределах. Номинально нижние пределы для столкновений и последовательных ветвей могут быть установлены на нуль или на выбранный допустимый предел ошибки, и это может фиксироваться оператором, или оператору может быть  
 35 обеспечен доступ к этим входным данным, чтобы он мог определить любые требуемые нижние пределы. Одним из нарушений графика будет являться график, который приводит в результате к получению неверной последовательности. Другим может быть график, который может привести к конфликтной ситуации. Любое из этих нарушений ограничений может быть определено без использования пределов «N» длительностей процессов термообработки. При использовании этого дополнительного ввода данных развернутый  
 40 график может быть оценен для определения того, будут ли одна или несколько длительностей процессов термообработки слишком короткими или слишком длинными и тем самым будут нарушать одно или более ограничений процессов термообработки. Эти входные и выходные данные, а также входные и выходные данные, рассмотренные ниже в других вариантах осуществления, могут быть представлены для просмотра на  
 45 соответствующем экране.

Если любой запрос приводит к получению утвердительного результата, то система управления вызовет приведение в действие предупредительной сигнализации и/или отклонение ввода данных (блок 74) и выдачу состояния нарушения ограничений (блок 76). Если запрос не приводит к получению утвердительного ответа, то система управления  
 50 может выдать вычисленные допуски (блок 78), чтобы дать оператору информацию о том, каким образом уплотнить график, и затем преобразует моменты времени событий в углы событий и распечатывает углы событий и новое время машинного цикла (блок 79). «Распечатывание» здесь означает представление данных в читаемой форме для

оператора, например, в виде выходных данных, представляемых на экране, или в виде документа или машиночитаемой формы, чтобы система управления машины могла автоматически использовать данные, например, для настройки машины с использованием новых углов событий и времени машинного цикла.

5 В одном из режимов многосекционная машина может приводиться в действие, и оператору может потребоваться изменить один или более углов событий в 360-градусном  
10 времязадающем барабане. Конкретный процесс уже выполняется и базовые данные для этого процесса (длительности и пределы) уже введены в систему управления. Эти данные вместе с временем машинного цикла могут быть загружены из системы управления. Углы  
15 событий, включающие любое предусматриваемое изменение углов событий, могут быть загружены в модель 66 развертывания цикла, так что моменты времени событий могут быть определены. В другом режиме оператор может иметь запись (углы событий и время  
20 машинного цикла) процесса, который выполнялся ранее, и ему может потребоваться оценить некоторые изменения перед началом выполнения работы.

15 В обычной многосекционной машине, которая имеет ряд механизмов, которые приводятся в действие посредством пневматических цилиндров, длительности  
перемещений и длительности субперемещений могут быть определены эмпирически, например, с помощью быстродействующих камер. Там, где взаимовлияния обусловлены  
20 исполнительными механизмами, которые смещаются в соответствии с профилями перемещений, зоны субперемещений могут быть определены либо эмпирически, либо  
математически.

На фиг.16 иллюстрируется использование этой компьютеризованной модели для  
контроля длительностей процессов термообработки. С использованием моментов времени  
событий, длительностей перемещений, длительностей субперемещений и времени  
25 машинного цикла, известных, или в качестве введенных данных, компьютеризованная модель 64 будет анализировать график развернутого цикла по отношению к длительностям процессов термообработки (блок 80), и затем компьютеризованная модель 64 будет  
30 выдавать на выход длительности процессов термообработки (блок 82). Оператор может соответственно в любой момент времени наблюдать длительности процессов термообработки и, основываясь на своем опыте, вносить изменения в углы событий  
пределах 360 градусов и во время машинного цикла. При использовании пределов «N»  
длительностей процессов термообработки в качестве дополнительных входных данных  
компьютеризованная модель может также выдать на выходе допуск для «N»  
длительностей процессов термообработки, так что оператор может видеть, где находится  
35 время любого процесса по отношению к допустимому временному окну.

Фиг.17 иллюстрирует использование компьютеризованной модели для определения, для  
существующей настройки машины, оптимизированного времени цикла и оптимизированных  
значений углов событий для этого графика. С использованием длительностей  
перемещений, длительностей субперемещений, нижних пределов конфликтных ситуаций  
40 для ветвей, нижних пределов для последовательных ветвей, моментов времени событий, времени машинного цикла и статуса целевого или фиксированного значения для оптимизированного времени машинного цикла, известных или введенных на этапе  
оптимизации графика развернутого цикла для минимального времени цикла (блок 82),  
компьютеризованная модель 64 будет определять наличие осуществимого графика (блок  
45 83). Если такого графика нет, то модель будет отклонять введенные данные (блок 85).  
Время машинного цикла и моменты времени событий могут быть введены из модели  
развертывания цикла, а время оптимизированного машинного цикла может быть введено  
оператором. Только моменты событий и время машинного цикла необходимы для  
определения длительностей процессов термообработки, так что эти значения могут быть  
50 фиксированы перед осуществлением оптимизации. Эквивалентными входными данными могут быть длительности процессов термообработки. Оператор может установить целевое  
значение времени оптимизированного машинного цикла на нуль при нефиксированном  
статусе, и компьютеризованная модель будет пытаться оптимизировать предлагаемый

график при минимальном возможном времени цикла. В случае если оператор принимает решение не уменьшать машинный цикл с текущего значения времени машинного цикла до самого короткого значения времени машинного цикла, то он может предпочесть снизить время цикла до некоторого значения времени машинного цикла, находящегося между

5 этими двумя значениями. Он может установить целевое значение времени оптимизированного машинного цикла на значение времени, промежуточное между текущим временем машинного цикла и самым коротким временем машинного цикла, при фиксированном статусе. Если имеется осуществимый график, то модель будет преобразовывать оптимизированные значения моментов времени событий в углы событий  
10 (блок 84) и распечатывать углы событий и новое время машинного цикла (блок 86) для цикла этого графика, так что он будет доступным для ввода в блок контроллера системы управления машины.

Фиг.18 иллюстрирует использование компьютеризованной модели 64 для настройки и управления многосекционной машиной в соответствии с вводами данных оператором,  
15 определяющими одну или более длительностей процессов термообработки (длительность «N» процесса термообработки и связанные с ней целевые значения, пределы и статус фиксированных значений). При вводе времени машинного цикла и моментов времени событий (или длительностей процессов термообработки), а также при вводе длительностей перемещений, длительностей субперемещений, нижних пределов конфликтных ситуаций  
20 для ветвей, нижних пределов последовательности, блок 88 оптимизации графика развернутого цикла компьютеризованной модели 64 будет определять, имеется ли осуществимый график (блок 90). Как показано на чертеже, имеется дополнительный ввод длительности «N» процессов термообработки, который включает в себя целевое значение времени, пределы и статус фиксированных значений.

25 Оператор может, например, принять решение, что дефект возникает из-за того, что время подогрева недостаточно, и ввести предлагаемое новое значение времени подогрева. Оператор может также ввести более одного нового значения длительностей N1, N2,... процессов термообработки в ходе автономной (офлайновой) оценки процесса. В любом из этих режимов значения углов событий для всего графика должны быть  
30 доступными, и все они могут быть введены оператором или загружены из системы управления машины.

Если нет осуществимого графика, то компьютеризованная модель отклонит вводы данных (блок 92). Если график осуществим, то компьютеризованная модель выдаст на выход значения длительностей процессов термообработки (блок 89). Такой вывод данных  
35 может представлять собой, например, распечатку для каждой длительности целевой длительности, указание на то, фиксирована или нет соответствующая целевая длительность, и действительную длительность, находящуюся в пределах окна между верхним и нижним пределами для длительности. Если имеется решение, то блок 84 преобразования оптимизированных значений моментов времени событий в углы событий  
40 компьютеризованной модели преобразует значения моментов времени событий в углы событий и переходит к распечатке углов событий и нового времени машинного цикла (блок 94).

Фиг.19 иллюстрирует использование компьютеризованной модели для полной оптимизации графика. Данные времени машинного цикла, значений моментов времени  
45 событий, длительностей перемещений, длительностей субперемещений, длительностей процесса термообработки, длительностей конфликтных ситуаций для ветвей и длительностей последовательных ветвей, которые представляют собой целевые значения, вводятся в блок 96 оптимизации графика развернутого цикла. Кроме того, также вводится ряд предельных значений: 1) минимальная/максимальная длительность «N» перемещения,  
50 2) минимальная/максимальная длительность «N» процесса термообработки, 3) минимальная/максимальная ветвь «N» конфликтной ситуации, 4) минимальная/максимальная ветвь «N» последовательности. Минимальная/максимальная длительность «N» перемещения относится к перемещениям, которые обеспечиваются

серводвигателем и могут селективно варьироваться. При задании этих входных данных блок оптимизации графика развернутого цикла находит оптимизированный график, если существует такой осуществимый график. В случае если результат проверки в блоке 98 наличия осуществимого графика отрицательный, то оператору будет выдана рекомендация

5 об изменении пределов (блок 100), и оператор будет пытаться найти решение путем изменения предельных значений. При положительном результате проверки в блоке 98 система управления может установить ветви конфликтных ситуаций/последовательности на максимальное значение, зафиксировать все остальные длительности и вновь оптимизировать график развернутого цикла (блок 101). Это позволит максимизировать

10 данные ветви, чтобы дополнительно снизить вероятность конфликтных ситуаций, обусловленных неправильной последовательностью. Компьютеризованная модель будет затем преобразовывать моменты времени событий в углы событий (блок 102), распечатывать углы событий и новое время машинного цикла (блок 104) и выдавать на выходе оптимизированные длительности и соответственно пределы (блок 106).

15 Соответственно оператор имеет возможность манипулировать графиком развернутого цикла в целом. Он может начать с существующего рабочего файла, который традиционно должен иметь время цикла, углы событий и длительности ветвей, соответствующих перемещениям, реализуемым серводвигателем, и действовать для определения оптимизированного графика. Альтернативно он может ввести длительности процесса

20 термообработки и преобразовать их в моменты времени событий (для облегчения анализа, проводимого оператором, вся эта информация может быть отображена на экране).

Как показано на фиг.20, если существует осуществимый график (блок 107), компьютеризованная модель может определить, имеется ли действующее ограничение (ограничения), которое препятствует дальнейшей оптимизации (блок 108), и выдать на

25 выходе данные такого действующего ограничения (ограничений) (включая направление оптимизации при преодолении ограничения) (блок 110). Например, компьютеризованная модель может показать, что ограничение, препятствующее оптимизации, соответствует времени охлаждения формы для выдувания. Это позволяет оператору решать данную конкретную проблему для увеличения потока охладителя для форм. Если решение

30 проблемы отсутствует, то оператору дается рекомендация об изменении пределов (блок 100).

Фиг.21 иллюстрирует использование данной технологии для оптимизации износа механизма, приводимого в действие серводвигателем. Здесь компьютеризованная модель

35 64 используется для оптимизации графика развернутого цикла, и если решение существует (блок 107), то следующим этапом для компьютеризованной модели является оптимизация графика развернутого цикла путем фиксации всех переменных за исключением длительностей действия серводвигателя и установки длительностей действия серводвигателя на максимальное значение 112. На следующем этапе компьютеризованная модель распечатывает оптимизированное значение длительности для серводвигателя «N»

40 и подает оптимизированное значение длительности для серводвигателя «N» на контроллер серводвигателя «N» (блок 114), после чего будет осуществляться маршрутизация длительности для серводвигателя «N» с контроллера серводвигателя «N» на плату возбуждения усилителя серводвигателя «N» (блок 116), что приводит к переходу на оптимизированную длительность в цифровом процессоре сигналов усилителя (блок 118).

45 Цифровой процессор сигналов усилителя может, например, масштабировать нормированный профиль перемещения для механизма, чтобы обеспечивать его возбуждение в соответствии с конкретной длительностью перемещения. В данной среде идеальным двигателем, пригодным для настройки таким путем, является серводвигатель, который имеет нормированный профиль перемещений, который может масштабироваться

50 от минимальной длительности до максимальной длительности. Хотя предпочтительным вариантом осуществления профильного исполнительного элемента является серводвигатель, однако могут использоваться и другие типы электродвигателей, например шаговый двигатель.

Вышеописанная система управления может быть использована в стеклоформирующей машине как непосредственно, в качестве составной части системы управления машины, так и косвенно, в качестве системы управления машины, которая управляется виртуально для целей оценки.

5

#### Формула изобретения

1. Устройство для развертывания машинного цикла для использования со стеклоформирующей машиной, которая включает в себя участок черновой формы для формования пульки из капли стекломассы, имеющий по меньшей мере один механизм, участок выдувания для формования бутылки из пульки, имеющий по меньшей мере один механизм, дозирующую систему для отделения капли от потока стекломассы и средство доставки для доставки капли стекломассы на участок черновой формы, механизм для переноса пульки с участка черновой формы на участок выдувания и механизм отставителя для удаления бутылки с участка черновой формы, при этом упомянутая машина управляется программируемым формирователем последовательности, который определяет 360-градусный машинный цикл, имеющий установленное время цикла, каждый из механизмов перемещается из выдвинутого положения в отведенное положение и из отведенного положения обратно в выдвинутое положение в течение времени одного 360-градусного машинного цикла, длительность каждого перемещения каждого из механизмов из отведенного положения в выдвинутое положение и из выдвинутого положения в отведенное положение может быть определена, существуют зоны взаимовлияния между путями перемещения капли стекломассы, пульки, бутылки и отдельных механизмов, термообработка пульки и бутылки определяется рядом процессов термообработки, которые осуществляются в течение времени одного 360-градусного машинного цикла и имеют конечные длительности, технологический воздушный поток подается по меньшей мере для одного процесса в течение конечной длительности путем включения питательного клапана и затем его выключения в течение времени одного 360-градусного машинного цикла, причем перемещения начинаются и клапаны включаются и выключаются в требуемой последовательности при дискретных углах событий в течение 360-градусного машинного цикла, при этом процесс формования бутылок развернутого цикла, при котором капля стекломассы отделяется от потока стекломассы, затем капля стекломассы формируется для получения пульки на участке черновой формы, затем из пульки формируется бутылка на участке выдувания и бутылка удаляется с участка выдувания, требует более одного 360-градусного машинного цикла для своего завершения, содержащее средство развертывания цикла для преобразования углов событий программируемого формирователя последовательности замкнутого 360-градусного цикла, при которых начинаются перемещения и включаются и выключаются клапаны, во времена событий процесса формования бутылок развернутого цикла.

2. Устройство для развертывания машинного цикла для использования со стеклоформирующей машиной по п.1, отличающееся тем, что время процесса формования бутылок развернутого цикла составляет более двукратного времени 360-градусного машинного цикла.

3. Устройство для развертывания машинного цикла для использования со стеклоформирующей машиной по п.1, отличающееся тем, что средство развертывания цикла дополнительно содержит компьютеризованную модель математического представления сетевой диаграммы ограничений процесса формования бутылок развернутого цикла, при котором капля стекломассы формируется из потока стекломассы, затем капля преобразуется в пульку на участке черновой формы, затем пулька преобразуется в бутылку на участке выдувания и затем бутылка удаляется с участка выдувания.

4. Устройство для развертывания машинного цикла для использования со стеклоформирующей машиной по п.3, отличающееся тем, что математическое представление является матричным представлением.

5. Устройство для развертывания машинного цикла для использования с машиной,

которая получает исходный продукт и преобразует исходный продукт в конечный продукт на множестве участков, при этом машина управляется программируемым формирователем последовательности, который определяет 360-градусный машинный цикл, имеющий установленное время машинного цикла, каждый из механизмов циклируется в течение

5 времени одного машинного цикла, длительность каждого перемещения каждого из механизмов может быть определена, начало каждого перемещения является событием, которое селективным образом инициируется в выбранной последовательности в течение времени одного цикла машины, и работа машины имеет ряд ограничений, включающих

10 взаимовлияния между путями перемещения отдельных механизмов, при этом процесс развернутого цикла, при котором исходный продукт преобразуется в конечный продукт, требует времени более одного машинного цикла для своего завершения, содержащее средство развертывания цикла для преобразования углов событий программируемого формирователя последовательности замкнутого 360-градусного цикла, при которых начинаются перемещения, во времена событий в процессе развернутого цикла.

15 6. Устройство для развертывания машинного цикла для использования с машиной по п.5, отличающееся тем, что средство развертывания цикла содержит компьютеризованную модель математического представления сетевой диаграммы ограничений процесса развернутого цикла.

20 7. Устройство для развертывания машинного цикла для использования с машиной по п.6, отличающееся тем, что математическое представление является матричным представлением.

25

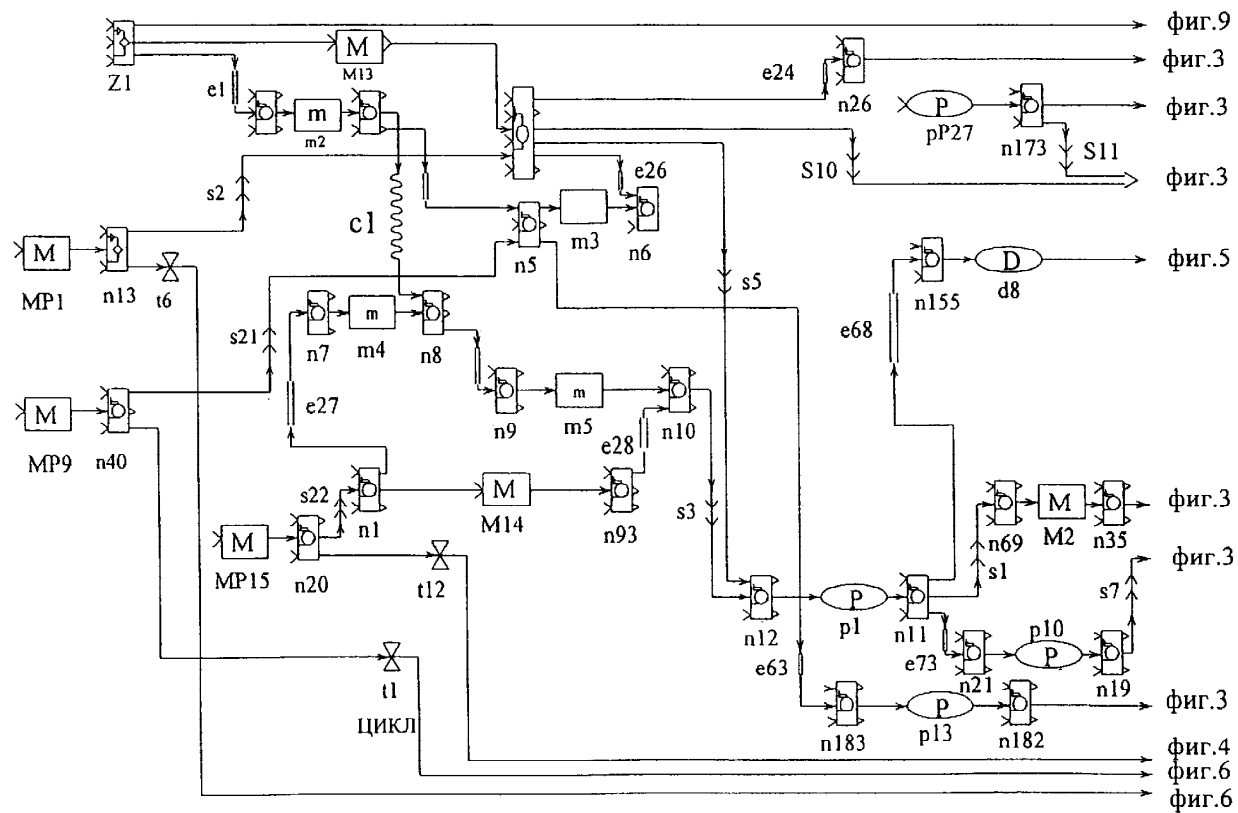
30

35

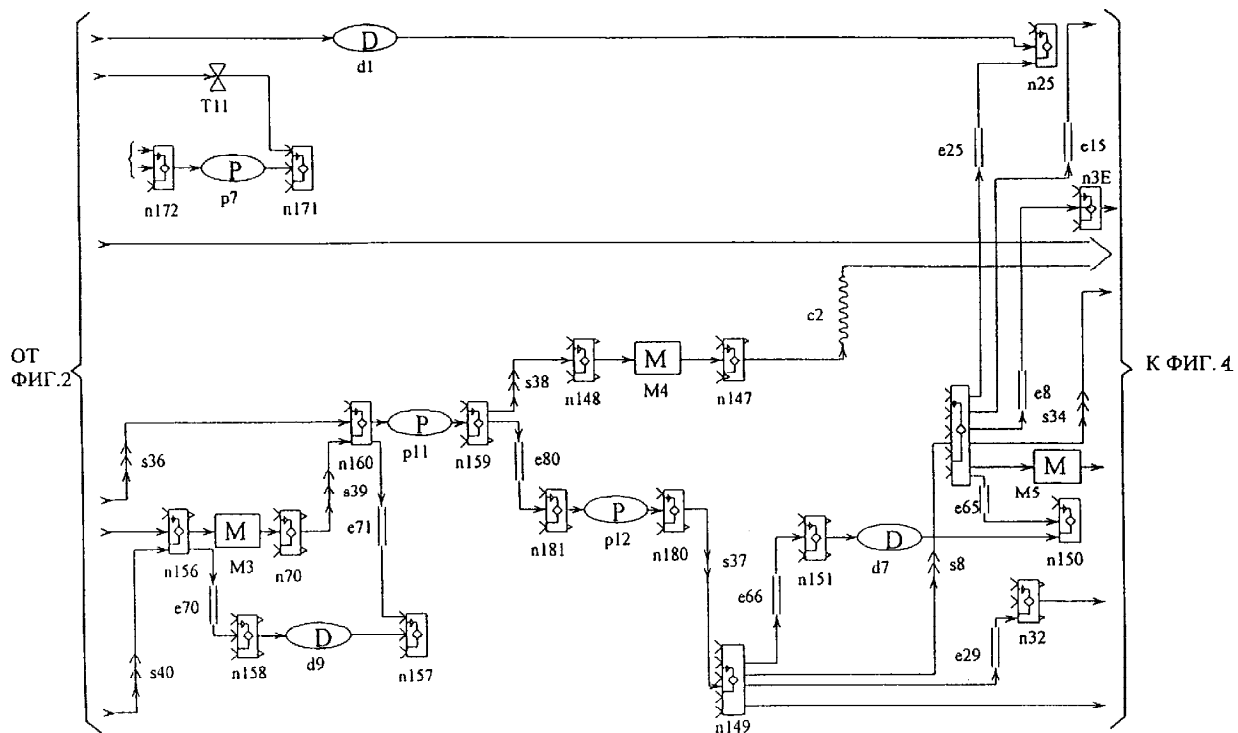
40

45

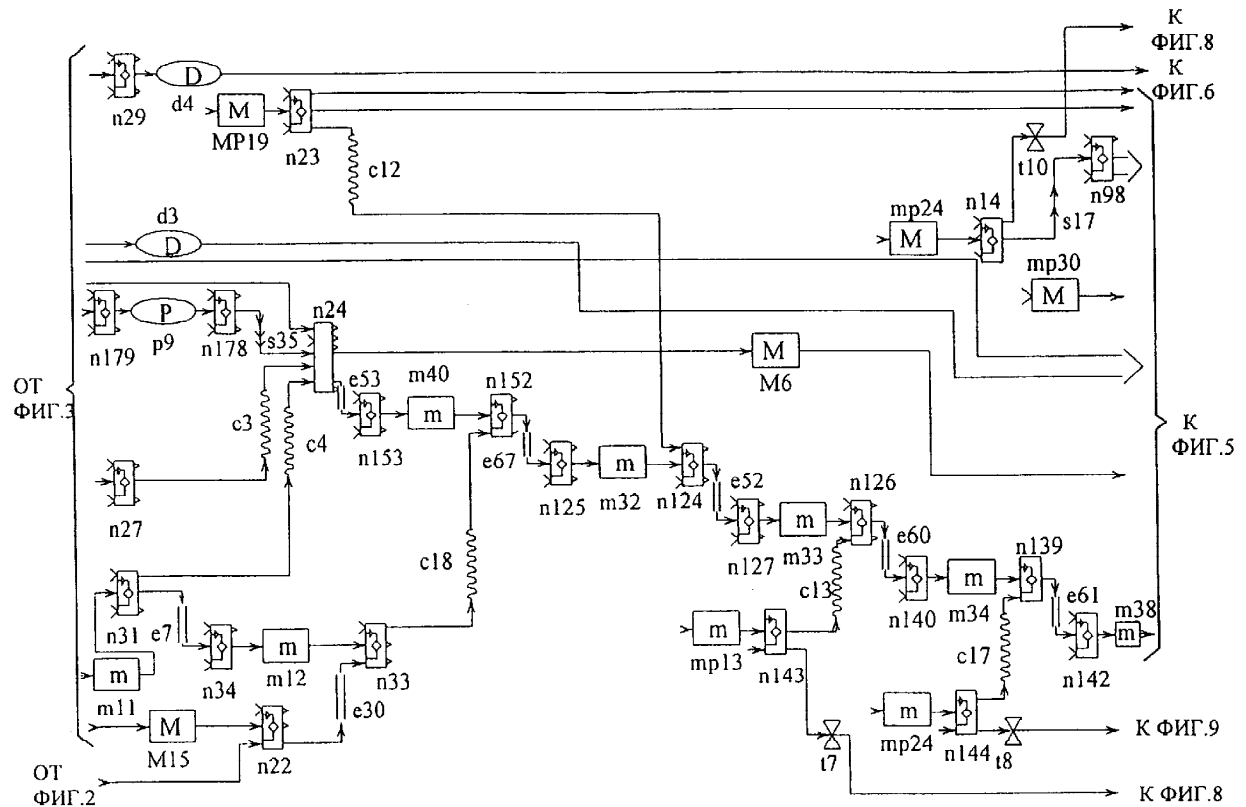
50



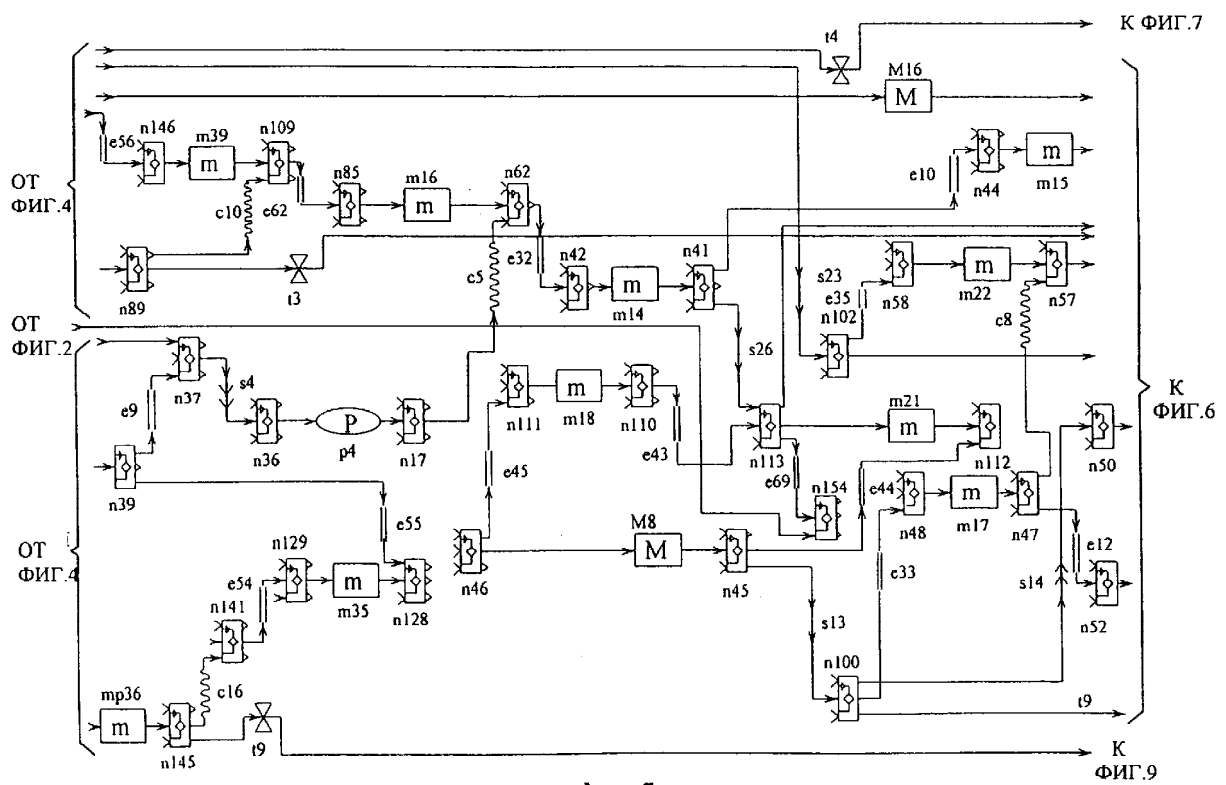
фиг. 2



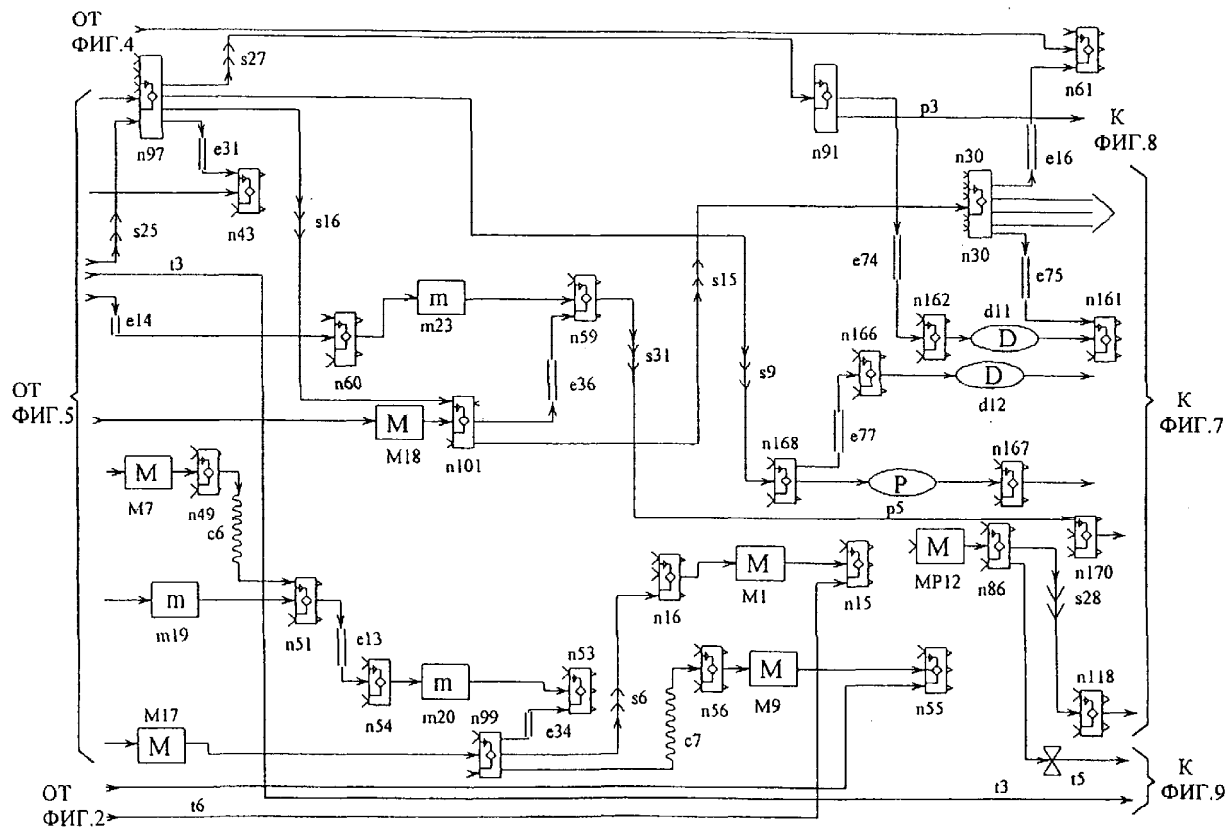
фиг. 3



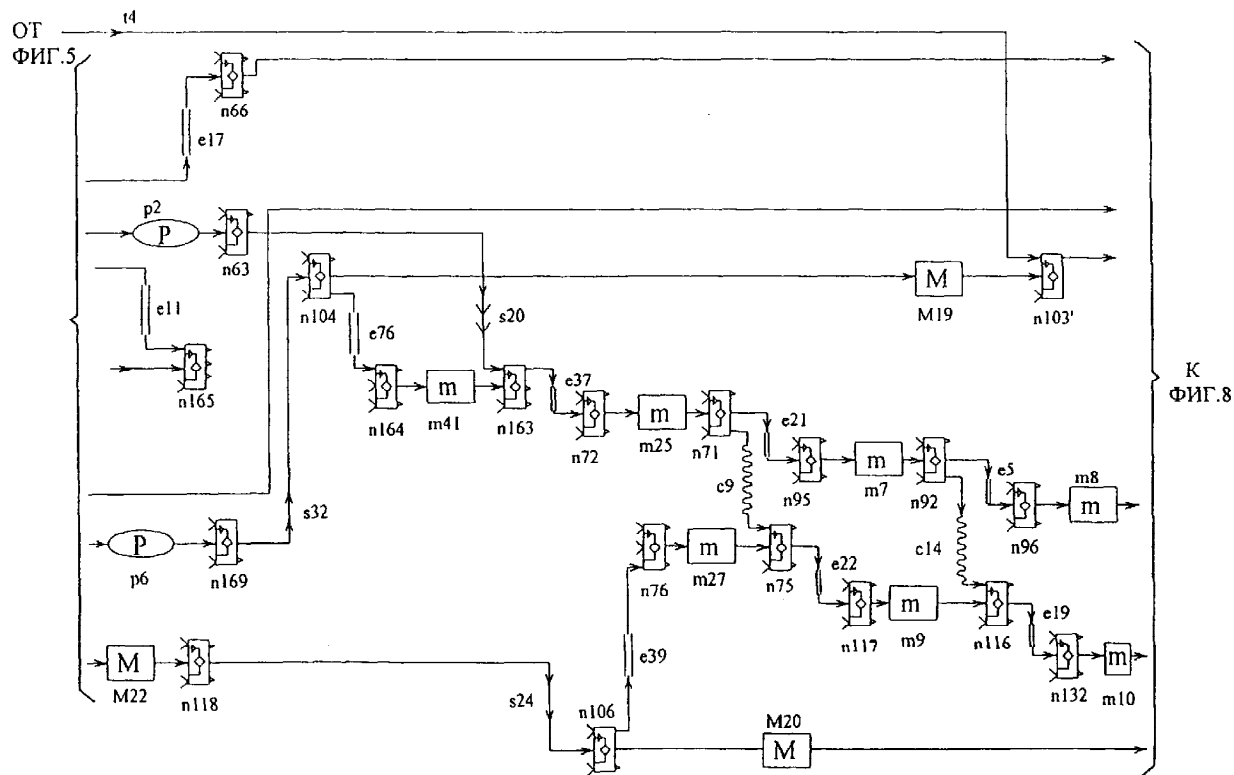
Фиг. 4



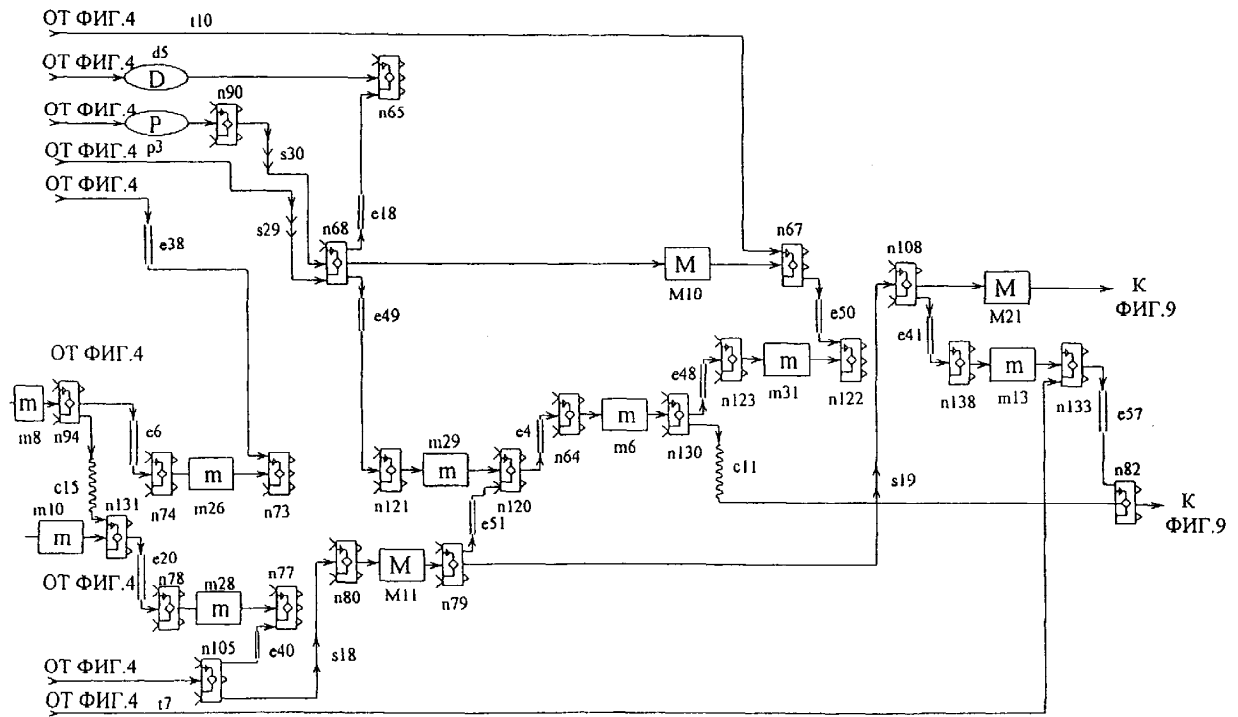
Фиг. 5



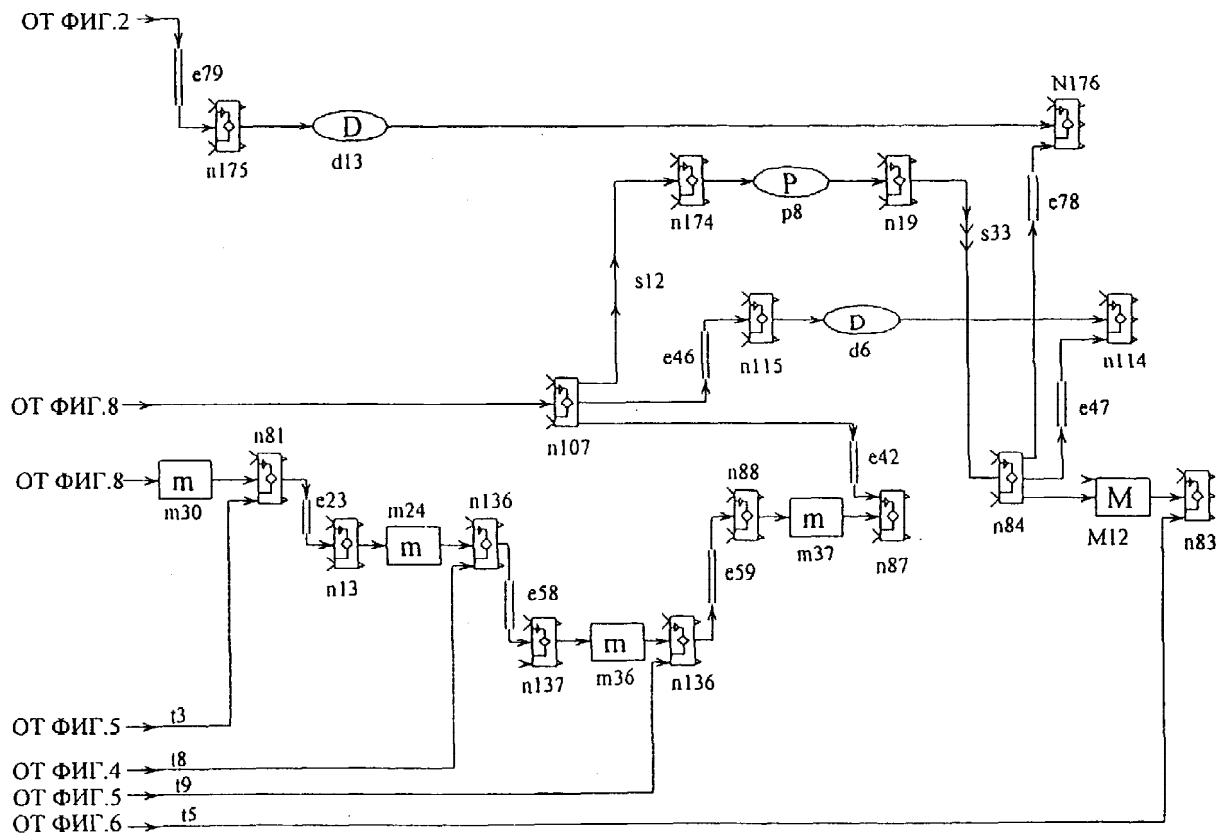
фиг. 6



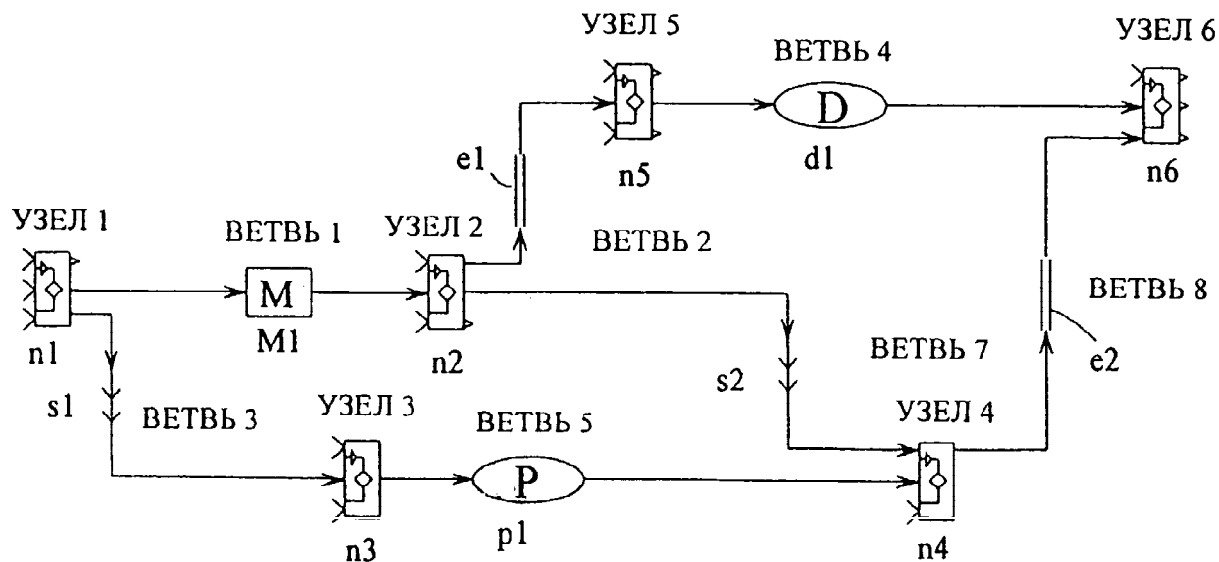
фиг. 7



фиг. 8



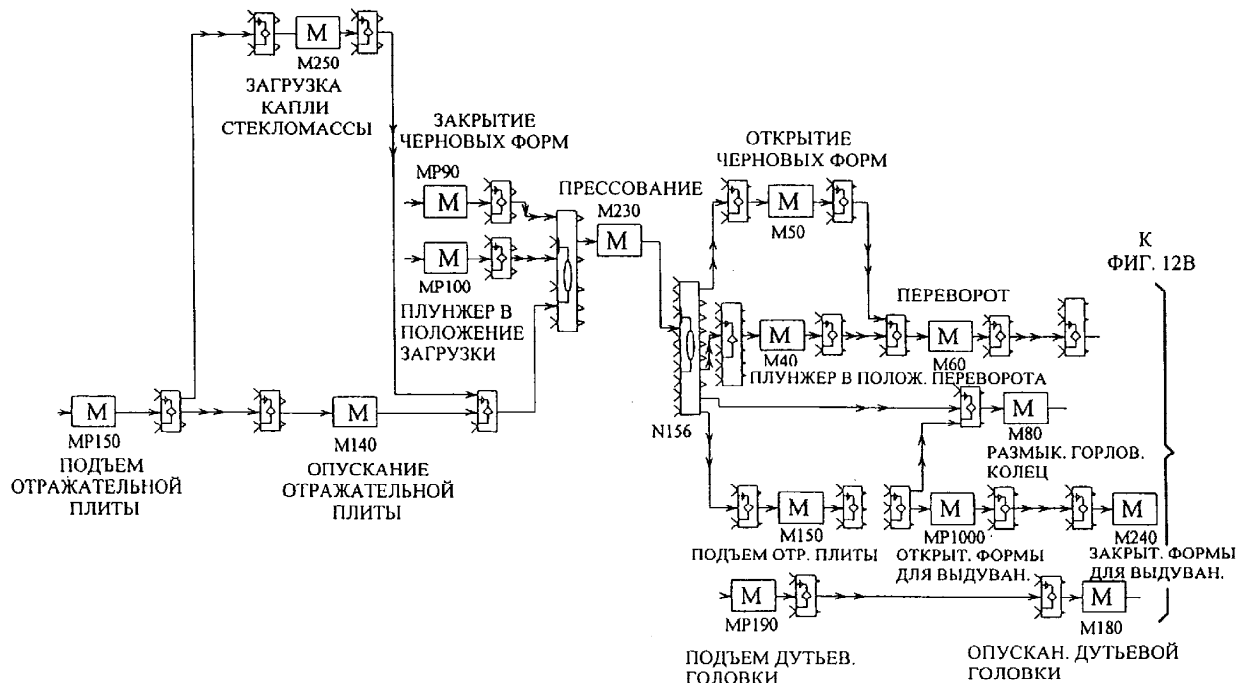
фиг. 9



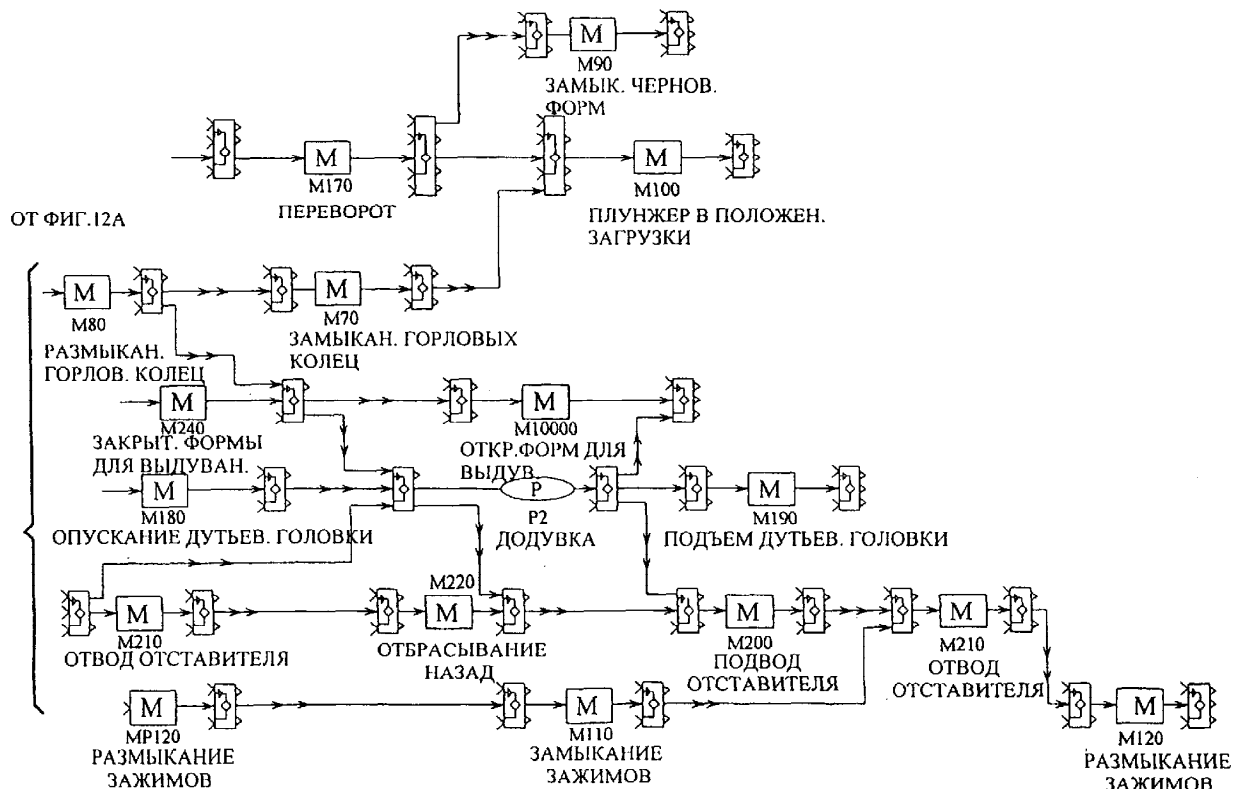
фиг. 10

| 1  | события                     | ВКЛ.  | ВЫКЛ. |
|----|-----------------------------|-------|-------|
| 2  | перехват капли стекломассы  | 334   | 14    |
| 3  | закрытие черновых форм      | 324   | 130   |
| 4  | открытие черновых форм      | 130   | 321   |
| 5  | подъем плунжера             | 33    | 123   |
| 6  | первая отражательная плита  | 9     | 125   |
| 7  | опускание плунжера          | 127   | 327   |
| 8  | вытяжка                     | 1     | 150   |
| 9  | установка выдувания         | 1     | 1     |
| 10 | охлаждение плунжера         | 150   | 260   |
| 11 | переворот                   | 200   | 260   |
| 12 | размыкание горлового кольца | 274,5 | 283   |
| 13 | обратный поворот            | 282   | 172   |
| 14 | закрытие/открытие форм      | 229   | 170   |
| 15 | охлаждение формы            | 10    | 150   |
| 16 | дутьевая головка            | 290   | 113   |
| 17 | додувка                     | 348   | 120   |
| 18 | подвод отставителя          | 137   | 197   |
| 19 | замыкание захватов          | 178   | 78    |
| 20 | отвод отставителя           | 197   | 90    |

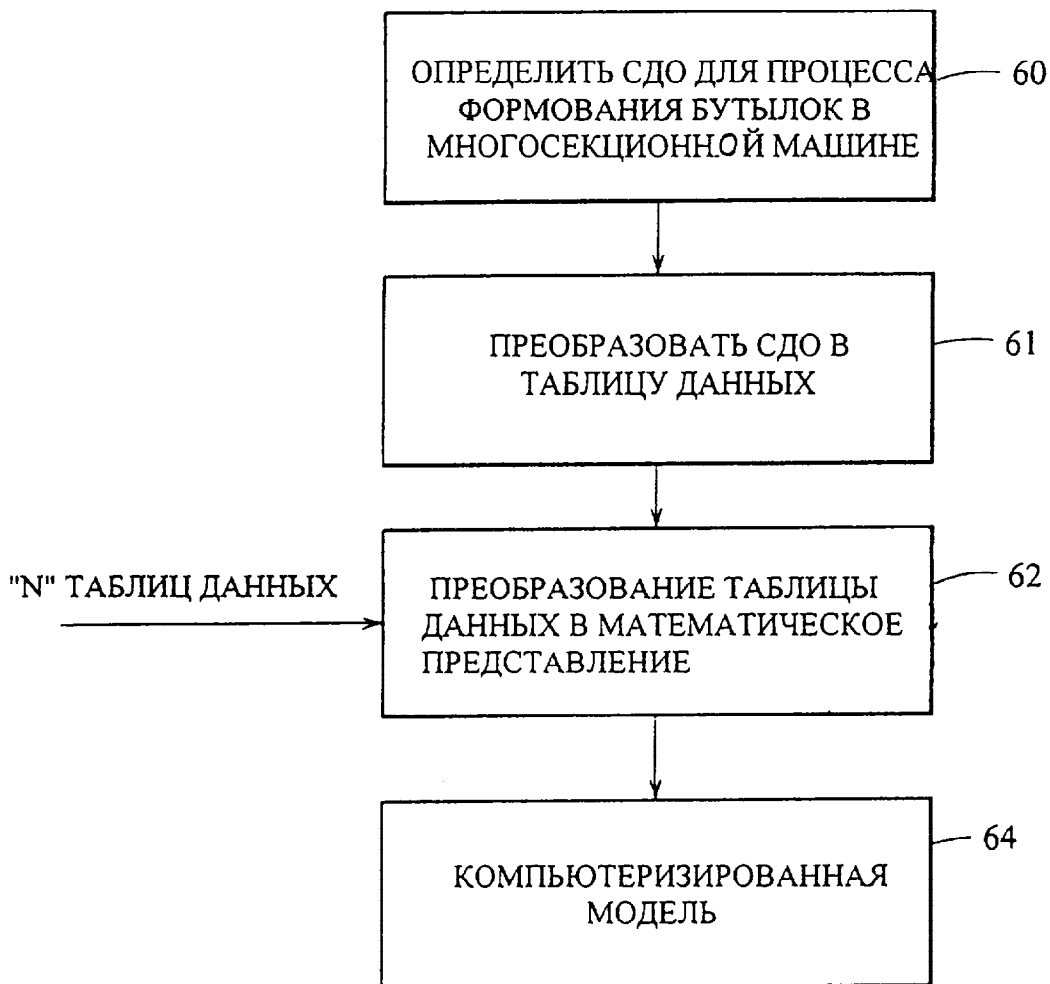
ФИГ. 11



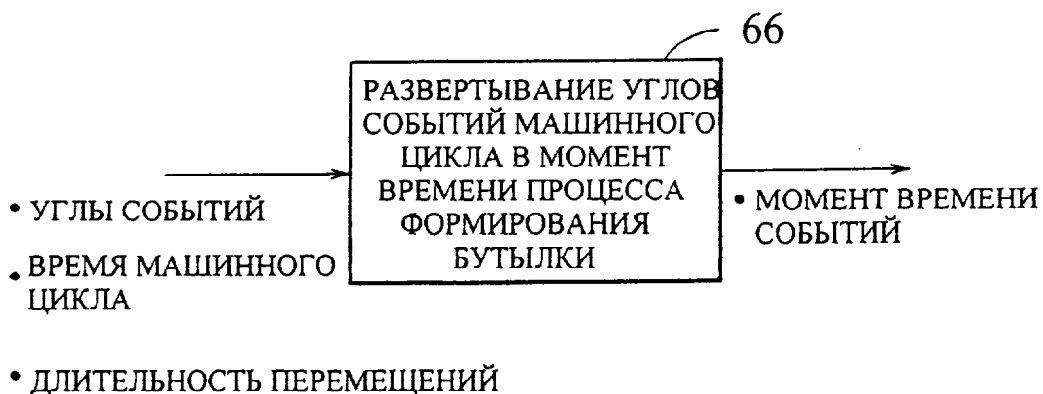
фиг. 12А



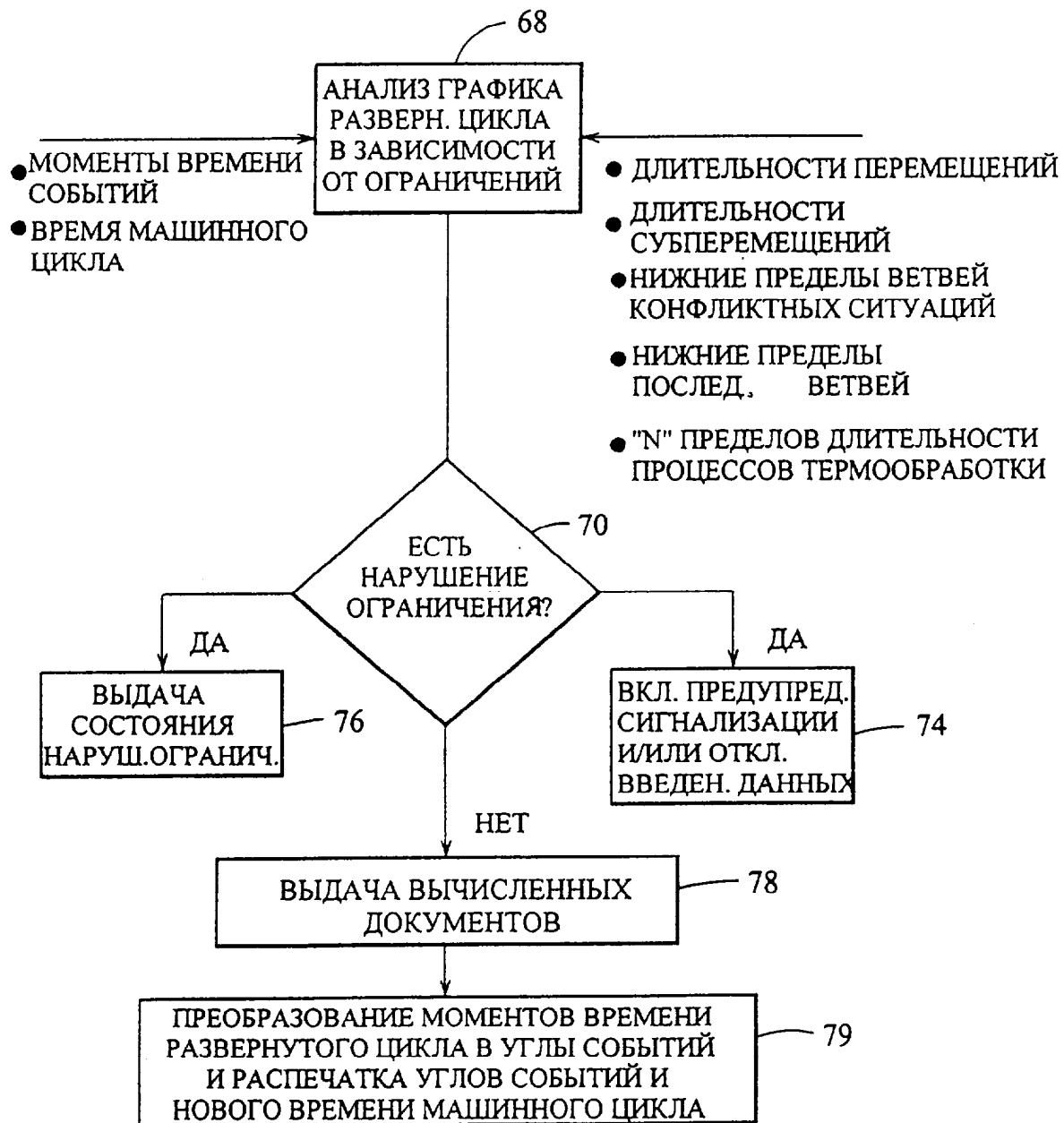
ФИГ. 12В



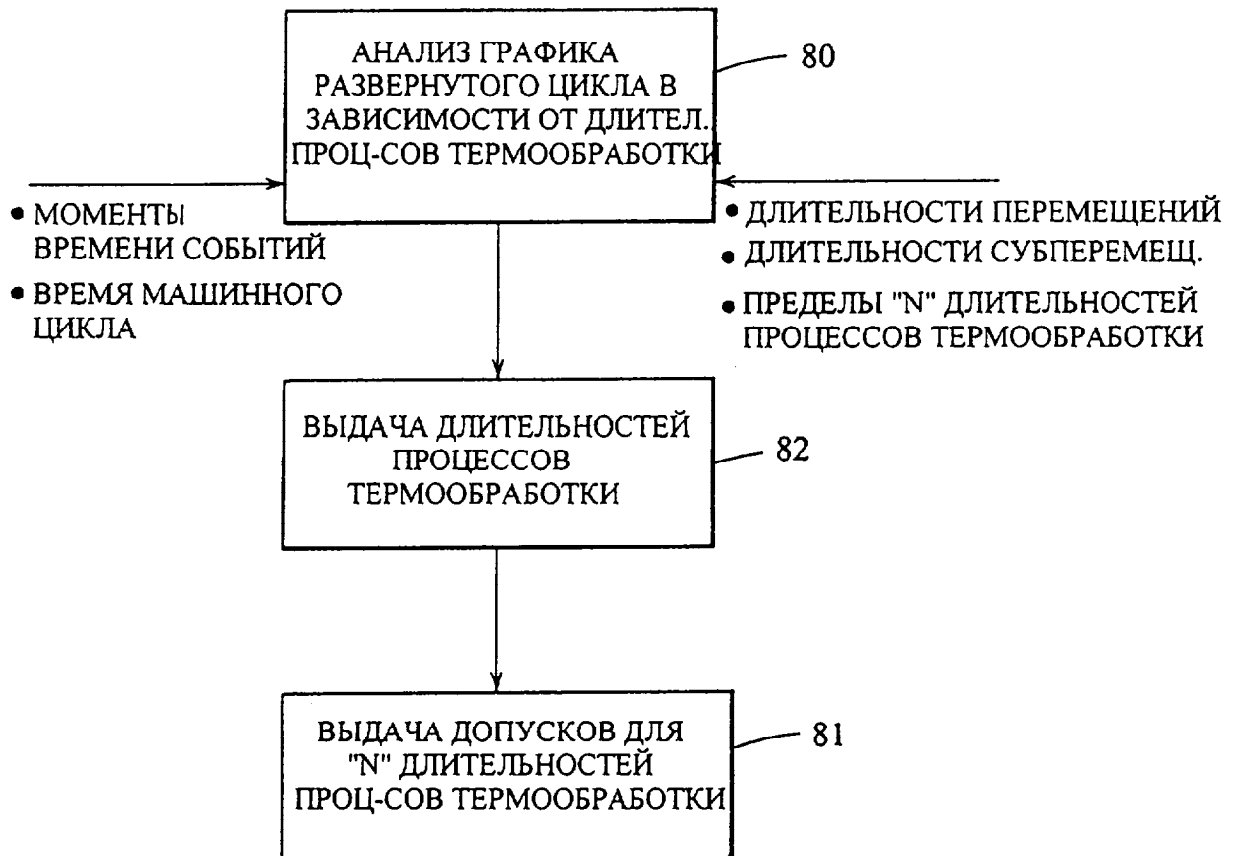
ФИГ. 13



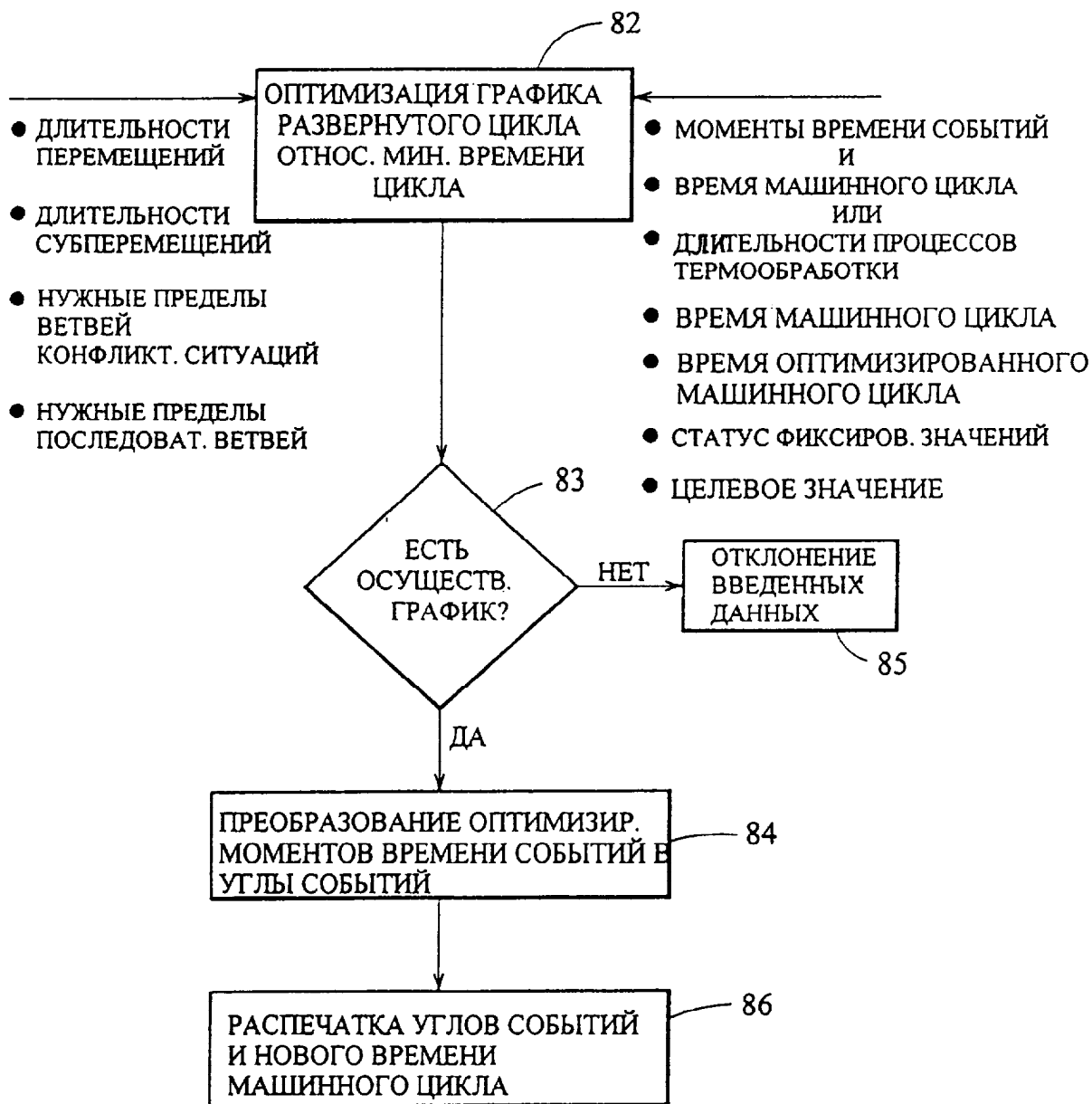
ФИГ. 14



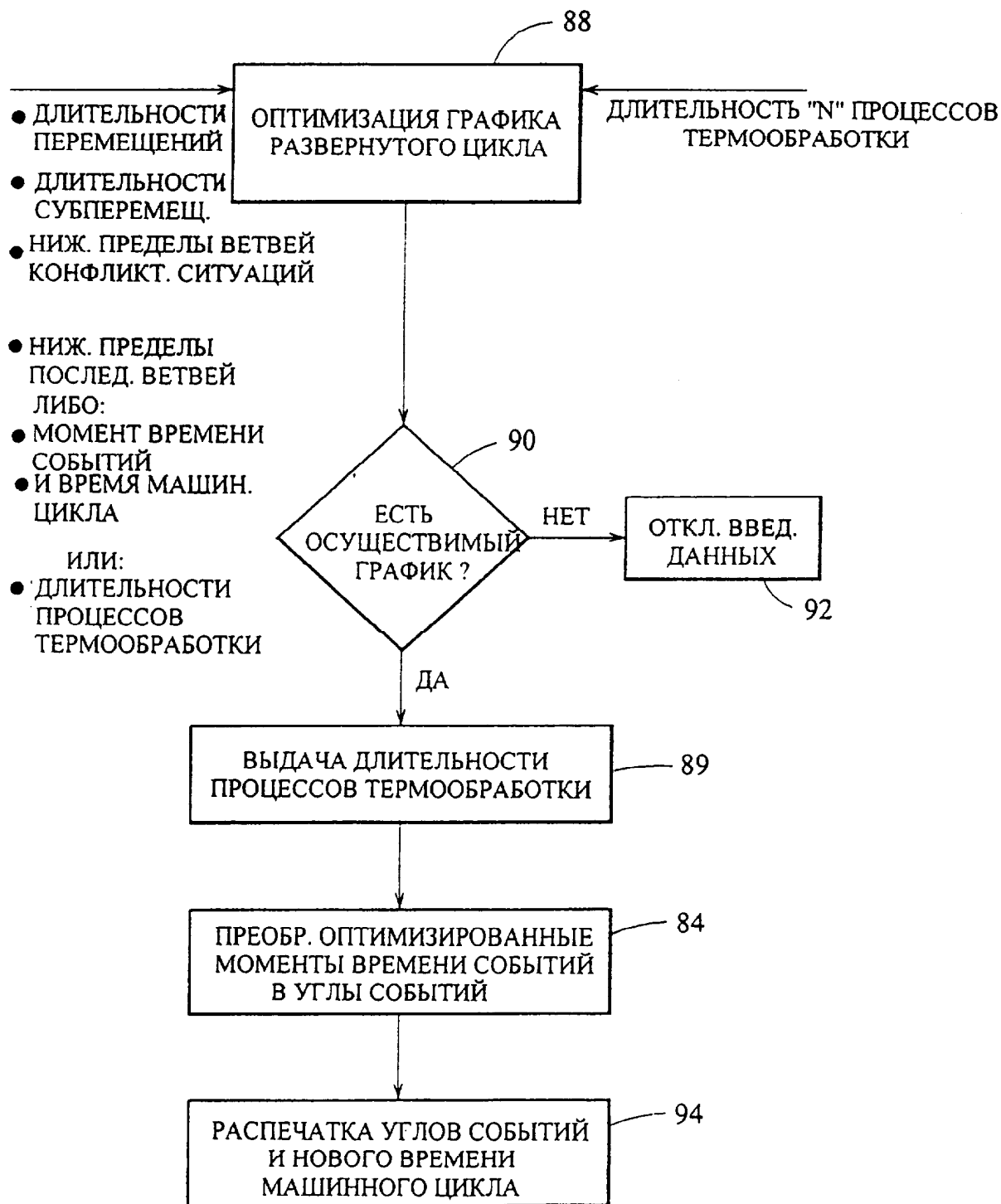
ФИГ. 15



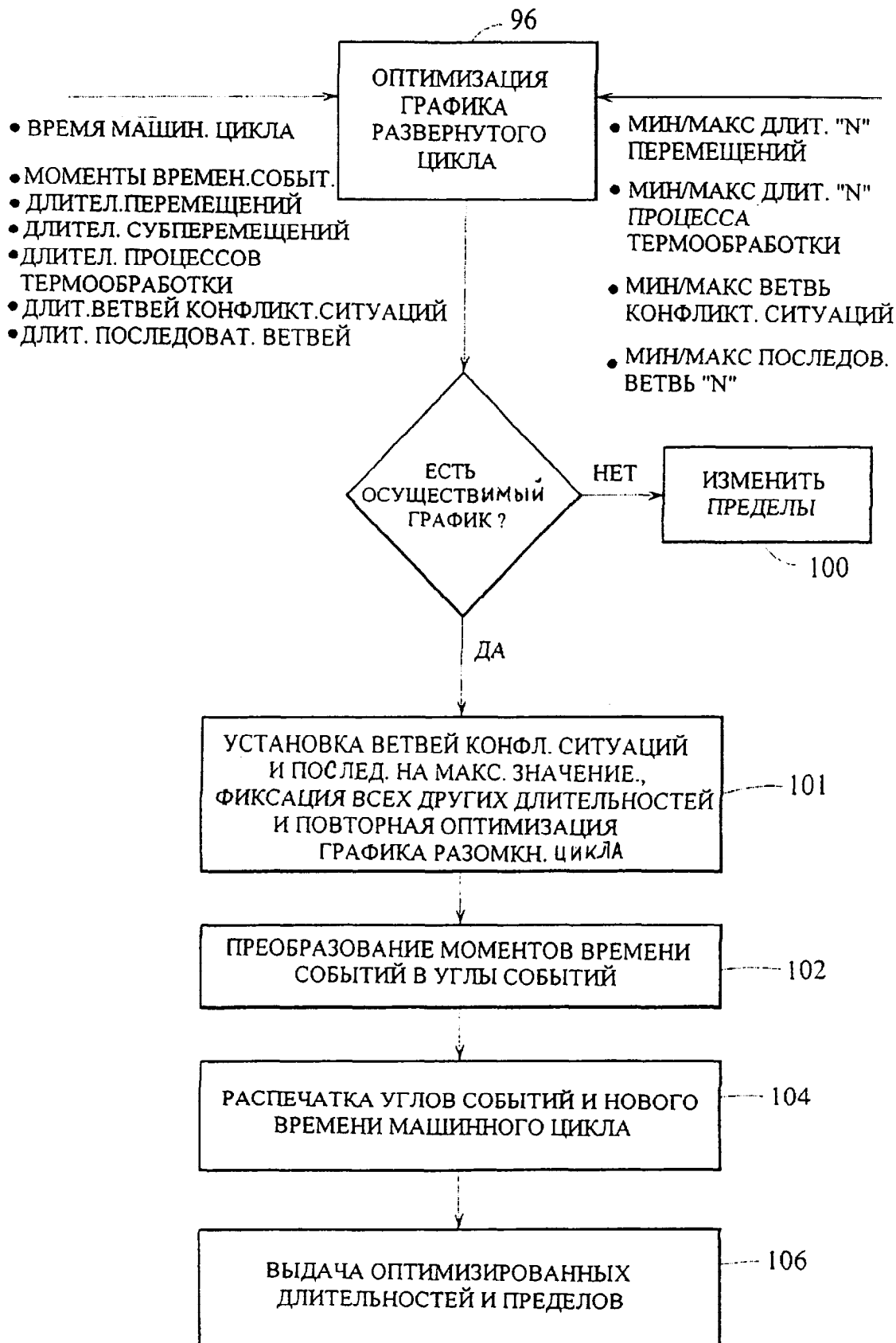
ФИГ. 16



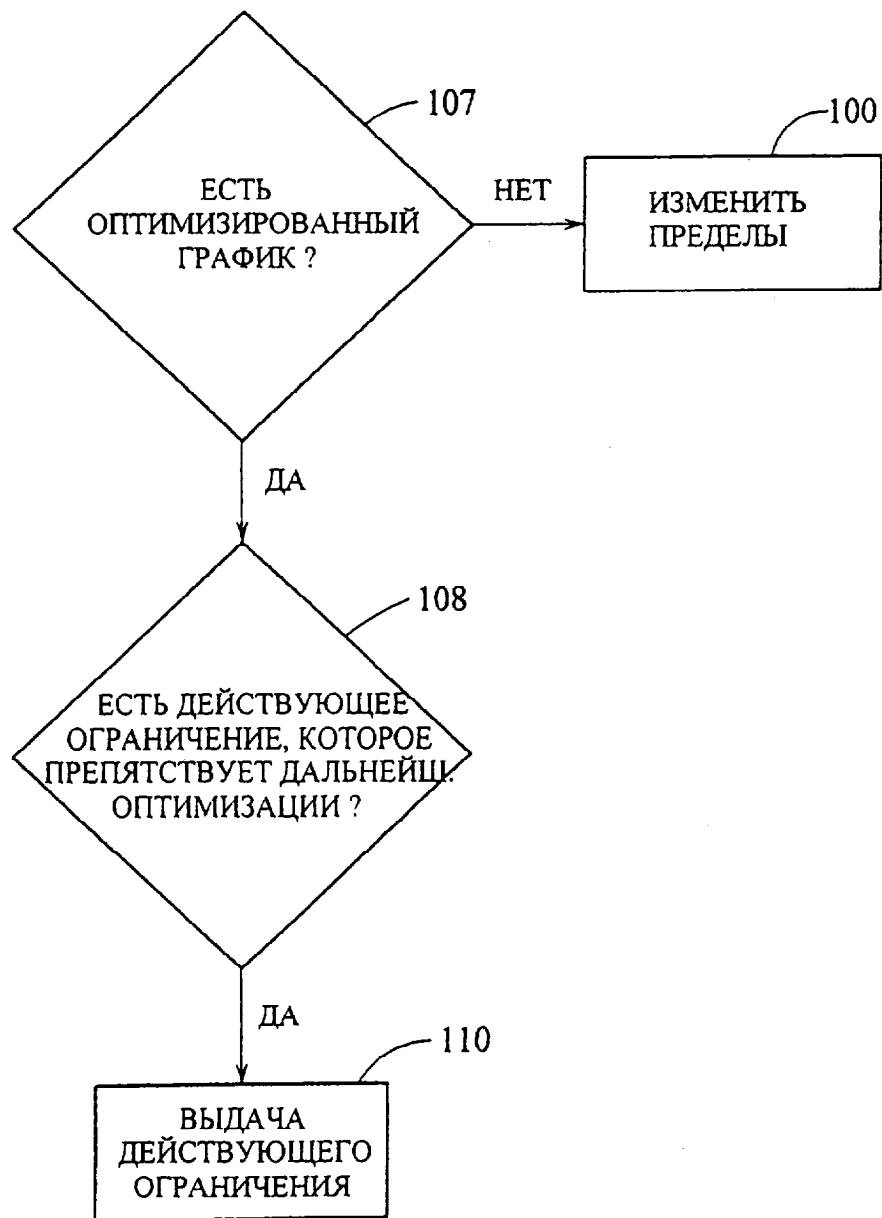
ФИГ. 17



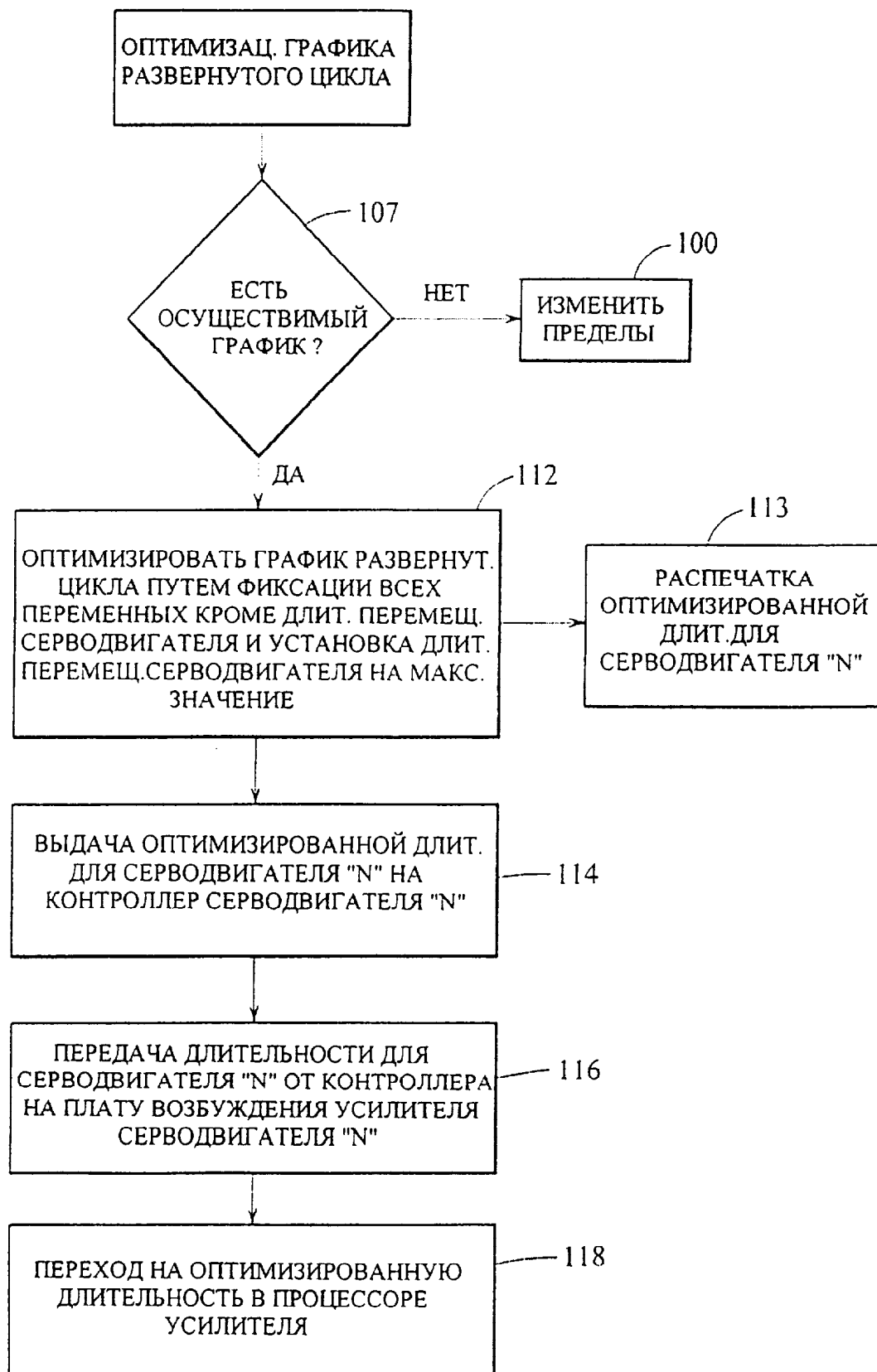
ФИГ. 18



ФИГ. 19



ФИГ. 20



ФИГ. 21