

Модели конвейерного медицинского технологического процесса¹

Аннотация. Рассматривается метод формализации и оптимизации медицинского технологического процесса конвейерного типа. Приведены примеры оптимизации лечебных конвейеров офтальмологической аппаратной помощи. Предлагается использование методов искусственного интеллекта для улучшения качества лечебного процесса.

Ключевые слова: лечебный конвейер, медицинский технологический процесс, совмещение циклов, оптимизация, искусственный интеллект.

Введение

Применение новых информационных технологий в клинической медицине приводит к повышению эффективности лечения, когда они обеспечивают оперативное управление процессом лечения. Это возможно, если процесс лечения рассматривать как медицинский технологический процесс (МТП) [1]. Такой подход предусматривает разработку методов и программных средств анализа прецедентов лечебно-диагностических процессов по каждой из нозологических форм, хранящихся в базах данных госпитальных информационных систем, построение обобщенных описаний лечебно-диагностических процессов, адаптацию таких описаний на основе учёта особенностей конкретных пациентов. Анализ накопленной информации по множеству реализаций МТП лечения болезней показывает, что имеются существенные резервы по повышению производительности и качества лечения, улучшению использования медицинского оборудования и т.д. Чем более полно в МТП учтены закономерности и ограничения, связывающие условия

проведения процесса с его выходными показателями, тем выше эффективность его работы. К сожалению, практически все отдельно взятые МТП основаны на неполных знаниях о закономерностях и, поэтому, не могут обеспечить оптимального лечения пациентов.

Одной из эффективных форм реализации МТП является лечебный конвейер, который после заполнения способен с высокой скоростью обслуживать пациентов [2]. Различные операции МТП могут отличаться временем реализации и применяемым оборудованием. Такт работы конвейера определяется наиболее длительной операцией, поэтому вследствие неравномерности загрузки медицинского оборудования возможно образование простоев. В то же время различные МТП могут частично использовать одно и то же оборудование, что ставит задачи оптимизации расписаний их совместного выполнения. Так как одни и те же болезни по-разному проявляется у различных пациентов, то каждому из них могут назначаться индивидуальные технологические лечебные процессы, отличающиеся номенклатурой и количе-

¹ Работа выполнена в рамках программ фундаментальных исследований Отделения нанотехнологий и информационных технологий РАН: «Биоинформатика, информационные технологии в медицине» (проект «Развитие методов интеллектуального анализа данных и их применение в задачах синтеза персональных лечебно-диагностических процессов на основе прецедентной информации») и «Информационные технологии и методы анализа сложных систем» (проект 2.2 «Развитие методов интеллектуального управления на основе анализа потоков данных»).

ством аппаратов, последовательностью их применения в зависимости от особенностей заболевания. Все это ставит задачи оптимизации МТП конвейерного типа. Для существенного повышения эффективности МТП требуются новые методы анализа медицинских процессов, основанные на автоматизированном извлечении знаний из имеющихся баз данных МТП; использовании теории массового обслуживания и теории расписаний; применении интеллектуальных технологий поддержки принятия решений.

Конечной целью проводимых исследований является разработка комплекса специализированных методов оптимизации медико-технологических процессов лечения. Комплекс должен поддерживать интерактивный режим работы врача с помощью интеллектуального графического интерфейса и давать возможность активного воздействия на ход МТП. В настоящей работе рассматривается один из возможных подходов к формализации описания и оптимизации офтальмологического МТП конвейерного типа.

1. Основы формализации и оптимизация МТП конвейерного типа

Задачи построения технологических процессов являются многовариантными. В МТП число возможных комбинаций переходов, методов выполнения и компоновок операций даже для простых болезней значительно, а для более сложных существенно возрастает. Варианты МТП одной и той же болезни вследствие различий в структуре, применяемом оборудовании и режимах имеют различные выходные показатели: время лечения, себестоимость, коэффициент загрузки оборудования и др. Наличие нескольких вариантов МТП приводит к задаче выбора наилучшего из них, называемого оптимальным. Для уменьшения времени решения задачи используют отбор рациональных вариантов проектных решений МТП. При этом возникает проблема формирования критериев отбора вариантов.

Конвейерный МТП в рамках теории расписаний формализуется системой с многофазным циклическим обслуживанием. Периодические расписания наилучшим образом подходят для планирования многократного выполнения комплекса работ (операций). В работах [3-5] был

разработан подход к построению конвейерных расписаний. Рассмотрим основные положения этого подхода, основанного на оптимизации совмещения циклов обслуживания при многократной реализации МТП.

Пусть обслуживание производится в соответствии с алгоритмом A , содержащим m работ (далее – операций), среди которых могут быть одинаковые.

$$A = a_{j_1} a_{j_2} \dots a_{j_m} \quad (1)$$

Запись (1) показывает, что на k -ой фазе выполняется операция a_{j_k} . Алгоритм (1) назовем локальным алгоритмом (ЛА). Пусть модель обслуживаемой системы представлена набором Q элементов (исполнительных ресурсов), настраиваемых на выполнение операций из набора элементов l типов, соответствующих ЛА: $\{q_1, q_2, \dots, q_l\}$. Здесь q_j представляет набор k_j одинаковых элементов, т.е.

$$q = \{q_{j_1}, q_{j_2}, \dots, q_{j_{k_j}}\}, \sum_{j=1}^l k_j = Q, \quad 1 \leq k_j \leq p_j.$$

Пусть также t_j – время, необходимое для выполнения операции a_j элементом из набора q_j . Если $k_j = p_j, j = 1, \dots, l$, то имеется единственный способ закрепления ресурсов за операциями ЛА при однократном использовании каждого из них. Если $k_j \leq p_j$, то существует множество возможных вариантов закрепления исполнительных ресурсов, характеризуемых многократным использованием в процессе реализации алгоритма.

ЛА назовем отмеченным локальным алгоритмом (ОЛА), если в (1) кроме выполняемых операций указаны закрепленные за ними элементы. ОЛА имеет следующий вид:

$$A^* = a_{j_1}^{i_1} a_{j_2}^{i_2} \dots a_{j_m}^{i_m} \quad (2)$$

Запись $a_{j_k}^{i_k}$ означает, что элемент с номером i_k из набора q_k выполняет операцию a_{j_k} на k -ой фазе реализации ЛА.

Однократное выполнение ОЛА назовем его циклом. Пусть алгоритм (2) выполняется многократно, причем начала циклов совпадают с моментами $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_1 \leq \varphi_2 \leq \dots$. При многократной обработке будем оставлять неизмен-

ным порядок закрепления элементов за фазами ЛА, что является одним из необходимых требований обработки без прерываний. Указанное расписание назовем циклическим с периодом T , если для всех его элементов выполняется соотношение $\varphi_j + kT = \varphi_{j+k}$. Будем говорить, что для циклического расписания с периодом T имеет место совмещение вычислительных процессов, если хотя бы для одного элемента расписания выполняется $\varphi_{j+1} < \varphi_j + t_0$, где t_0 - время (в тактах), необходимое для выполнения цикла ОЛА. Рассмотрим далее задачу составления периодических расписаний для ЛА.

Формализуем постановку и решение задачи максимального совмещения циклов. Для каждого исполнительного ресурса системы выпишем первоначально из ОЛА порядковые номера (фазы) закрепленных за ними операций. Если φ_1 и φ_2 - две разные фазы закрепления элемента, то величину $\tau = |\varphi_1 - \varphi_2|$ назовем сдвигом фазы. Таким образом, для всех элементов i -го типа можно выписать множество сдвигов фаз $H_i(A^*)$, а всему варианту ОЛА поставить в соответствие множество $H(A^*) = \bigcup_{i=1}^l H_i(A^*) = \{\tau_1, \dots, \tau_r\}$.

Введем далее множество $G(A^*)$ такое, что $G(A^*) = N_p \setminus H(A^*)$, где $N_p = \{1, \dots, p+1\}$, $p = \max\{\tau: \tau \in H(A^*)\}$. Нетрудно убедиться, что множество сдвигов $H(A^*)$ определяет запрещенные шаги совмещения циклов обработки периодического расписания, а $G(A^*)$ - разрешенные шаги. Информация о множествах $H(A^*)$, $G(A^*)$ и длине локального алгоритма m является достаточной для построения допустимых периодических расписаний, в том числе оптимального.

Показано, что задача построения конвейера, оптимизирующего многократное совмещение циклов по среднему времени выполнения одного цикла, может быть сведена к построению расписания с минимальным значением $|H(A^*)|$ [3-5]. Заметим, что полный конвейер, в котором каждая операция выполняется на отдельном закрепленном за ней исполнительном ресурсе, характеризуется значением $|H(A^*)| = 0$. При

равномерном совмещении величина сдвига T равна периоду циклического расписания. Для равномерного совмещения минимальное T может быть найдено как:

$$T = \min\{t: k \cdot t \in H(A^*), t \in G(A^*), k \in N\}, (3)$$

N - множество натуральных чисел. Детальное описание метода совмещения циклов обслуживания содержится в специальной литературе [3-5].

Наряду с $A = a_1 a_2 \dots a_k$ рассмотрим также ЛА $B = b_1 b_2 \dots b_l$, причем у технологических процессов A и B могут быть одинаковые операции, для выполнения которых могут использоваться общие ресурсы. Для каждого ЛА существует свой собственный способ закрепления оборудования за отдельными операциями (фазами) обслуживания. Рассмотрим эти процессы в комплексе с учетом возможности использования общих исполнительных ресурсов.

Возможные варианты построения комплекса или системы ЛА отличаются вариантами относительного сдвига ЛА. Величина k , называемая сдвигом в системе ЛА A и B , равна числу тактов, на которое начало цикла процесса A опережает, при $k > 0$ или отстает, при $k < 0$ от начала цикла процесса B .

При фиксированном значении k система ЛА может рассматриваться как комплекс или система алгоритмов обслуживания. Если в системе ЛА указать закрепленные за операциями ресурсы, то получится система ОЛА, которая является допустимой при выполнении следующих условий:

1. Выполнение ЛА происходит без прерываний.
2. Время выполнения всех элементарных операций одинаково.
3. Составные операторы (операторы, содержащие совмещаемые во времени операции) не содержат одинаковых ресурсов, т.е. каждая операция ЛА выполняется одновременно не более чем на одном исполнительном ресурсе и каждый исполнительный ресурс выполняет одновременно не более одной операции ЛА;
- 4) такт работы является составным и равен $\Delta t = t_{op} + t_{ex}$, где t_{op} - время выполнения самой длительной операции, t_{ex} - время обмена между ресурсами, для простоты полагаем $\Delta t = 1$;

5) ограничения на число и вид связей между ресурсами не накладываются.

В случае нарушения второго условия, операция разбивается на элементарные промежутки времени (такты). Заметим также, что если в системе находится только по одному ресурсу каждого типа, то верхние индексы в (2) можно опустить и формальная запись ОЛА совпадет с записью ЛА. В дальнейшем ограничимся рассмотрением систем из двух ЛА, соответствующих двум различным МТП. Зафиксировав разрешенный сдвиг k , можно определить формальные параметры полученной системы ЛА.

2. Практическое построение МТП конвейерного типа

Рассмотренные ранее положения теории совмещения циклов многократно выполняемых процессов можно применить на практике. Рассмотрим в качестве примера конвейерные МТП предприятия "Крымский республиканский медицинский центр реабилитации зрения" [2].

Каждому технологическому процессу соответствует свой документ – маршрутная процедурная карта с соответствующими унифицированными схемами аппаратного лечения глаз. Таковыми являются, например, схемы унифицированные СУ-А (Табл.1) и СУ-Р (Табл.2). Каждая карта содержит описание соответствующего конвейера.

Время заполнения конвейера СУ-А составляет 80 мин, конвейера СУ-Р – 90 мин. Конвейеры могут работать с различными показателями качества в зависимости от используемого состава оборудования и схемы совмещения циклов. Здесь в качестве основного показателя будем использовать время T обслуживания конвейером одного пациента после заполнения конвейера. Варианты параметров конвейеров отражены в Табл. 3 и Табл. 4. Рассмотрим вначале случай одного МТП, соответствующего унифицированной схеме лечения СУ-А (Рис.1).

Работа конвейера может быть пояснена на диаграмме совмещения циклов его работы в соответствии с установленными правилами и с учетом оборудования. Откуда следуют технические характеристики. Конвейер заполняется, а затем выпускает пациентов через каждые T минут.

Вариант а) характеризуется наличием минимума оборудования с параметрами $H(A^*) = \{1,2,3\}$, $G(A^*) = \{4\}$, при которых период совмещения циклов составит $T=4$.

Вариант б) характеризуется наличием двух устройств «Электросон», что позволяет формально загрузить их равномерно в течение одного цикла, например, $f_1 f_1 f_2 f_2$, что соответствует варианту б-1) с параметрами $H(A^*) = \{1,2\}$, $G(A^*) = \{3\}$, $T=3$. Однако это требует переключения аппарата от одного пациента на другого с подключением второго аппарата в течение одного сеанса, что

Табл. 1. Маршрутное описание МТП (Унифицированная схема лечения СУ-А)

Номер технологической операции	Название технологической операции (методика)	Условное обозначение операции с разбивкой на такты	Средства технологического оснащения (приборы, аппараты)	Цикл технологической операции (продолжительность в минутах)
1	Биомеханостимуляция	A1	Биомеханический стимулятор "Юность"	5
2	Электростимуляция	B1b1b1	Электростимулятор офтальмологический "ЭСО-2"	15
3	Лазер – плеоптика	c1c1	Амблиоспекл лазерный АЛ-1	10
4	Засветы панорамными фигурными слепящими полями	d1d1	Панорама	10
5	Упражнения в локализации	e1	Амблиотренер	5
6	Нейрогенная релаксация	f1f1f1f1	Электросон	20
7	Макулоstimуляция	g1	Макулоstimулятор	5
8	Компьютерные программы: 1) развитие статической остроты зрения 2) развитие динамической остроты зрения	h1h1	Медицинский офтальмологический компьютерный комплекс – МОКК	10

Табл. 2. Маршрутное описание МТП (Унифицированная схема лечения СУ-Р)

Номер технологической операции	Название технологической операции (методика)	Условное обозначение операции с разбивкой на такты	Средства технологического оснащения (приборы, аппараты)	Цикл технологической операции (продолжительность в минутах)
1	Биомеханостимуляция	a1	Биомеханический стимулятор "Юность"	5
2	Электростимуляция	b1b1b1	Электростимулятор офтальмологический ЭСО-2	15
3	Визотренинг	k1k1	Визотренер с генератором сигналов	10
4	Оптикофизиологический массаж аккомодационной мышцы (тренировка аккомодации релаксационного типа)	l1l1l1l1	Аккомодотренер АТ - 1 Макуло-стимулятор (КЭМБЭЛ)	20
5	Нейрогенная релаксация	f1f1f1f1	Электросон	20
6	Оптико-физиологический массаж (тренировка аккомодации и конвергенции)	p1p1	Офтальмологический лечебно - тренировочный комплекс ОЛТК-Д	10
7	Компьютерная коррекционная программа	h1h1	Медицинский офтальмологический компьютерный комплекс – МОКК	10

Табл.3. Влияние объема оборудования на производительность (период работы) конвейера

Вариант комплектации	Параметры совмещения G (A ¹)	Тип прибора и количество экземпляров лечебного ТП								Время Т выпуска пациента в конвейере (мин)
		Юность	ЭСО-2	АП-1	Панорама	Амблиотренер	Электросон	Макуло-стимулятор	МОКК	
Вариант а)	{4}	1	1	1	1	1	1	1	1	20
Вариант б)	{3}	1	1	1	1	1	2	1	1	15
Вариант с)	{2}	1	2	1	1	1	2	1	1	10
Вариант d)	{1}	1	3	2	2	1	4	1	2	5

Табл. 4. Влияние объема оборудования на производительность (период работы) обобщенного конвейера

Вариант комплектации Конвейера	Параметры совмещения G(A ¹)	Тип прибора и количество экземпляров лечебного ТП											Время Т выпуска пациентов в обобщенном конвейере (мин)
		Юность	ЭСО-2	АП-1	Панорама	Амблиотренер	Электросон	Макуло-стимулятор	МОКК	Визотренер	КЭМБЭЛ	ОЛТК-Д	
Вариант а)	{3},{5}	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15+25
Вариант б)	{3}	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	15+15
Вариант с)	{2}	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	10+10
Вариант d)	{1}	1	3	2	2	1	4	1	2	1	1	1	5+5

нежелательно. Поэтому, диаграмму представим в виде двух чередующихся ЛА с различными ресурсами, как показано на Рис.1, б-2). Аналогично решается задача для варианта с) в соответствии с Табл. 2, когда в МТП включает еще один дополнительный прибор ЭСО-2.

Рассмотрим далее решение задачи увязки различных лечебных конвейеров в единую технологическую схему. Каждый из двух представленных лечебных конвейеров представляет собой специализированный МТП. Построение единого МТП возможно за счет обобщения

a1	b1	b1	b1	c1	c1	d1	d1	e1	f1	f1	f1	f1	g1	h1	h1									
				a1	b1	b1	b1	c1	c1	d1	d1	e1	f1	f1	f1	f1	g1	h1	h1					
								a1	b1	b1	b1	c1	c1	d1	d1	e1	f1	f1	f1	f1	g1	h1	h1	
вариант а)																								
a1	b1	b1	b1	c1	c1	d1	d1	e1	f1	f1	f2	f2	g1	h1	h1									
				a1	b1	b1	b1	c1	c1	d1	d1	e1	f1	f2	f2	g1	h1	h1						
								a1	b1	b1	b1	c1	c1	d1	d1	e1	f1	f1	f2	f2	g1	h1	h1	
вариант б-1)																								
a1	b1	b1	b1	c1	c1	d1	d1	e1	f1	f1	f1	f1	g1	h1	h1									
				a1	b1	b1	b1	c1	c1	d1	d1	e1	f2	f2	f2	g1	h1	h1						
								a1	b1	b1	b1	c1	c1	d1	d1	e1	f1	f1	f1	f1	g1	h1	h1	
вариант б-2)																								
a1	b1	b1	b1	c1	c1	d1	d1	e1	f1	f1	f1	f1	g1	h1	h1									
				a1	b2	b2	b2	c1	c1	d1	d1	e1	f2	f2	f2	g1	h1	h1						
								a1	b1	c1	c1	d1	d1	e1	f1	f1	g1	h1	h1					
вариант с)																								

Рис. 1. Фрагменты диаграмм совмещения циклов работы простого конвейера

a1	b1	b1	b1	c1	c1	d1	d1	e1	f1	f1	f1	f1	g1	h1	h1									
				a1	b1	b1	b1	k1	k1	l1	l1	l1	l1	f1	f1	f1	p1	p1	h1	h1				
									a1	b1	b1	b1	c1	d1	d1	e1	f1	f1	f1	f1	g1	h1	h1	
													a1	b1	b1	k1	k1	l1	l1	l1	l1	f1	f1	
																a1	b1	b1	b1	c1	c1	d1	d1	
вариант а)																								
a1	b1	b1	b1	c1	c1	d1	d1	e1	f1	f1	f1	f1	g1	h1	h1									
				a1	b1	b1	b1	k1	k1	l1	l1	l1	f2	f2	f2	p1	p1							
								a1	b1	b1	b1	c1	d1	d1	e1	f1	f1	f1	f1	g1	h1	h1		
													a1	b1	b1	b1	k1	k1	l1	l1	l1	f2	f2	p1
вариант б)																								
a1	b1	b1	b1	c1	c1	d1	d1	e1	f1	f1	f1	f1	g1	h1	h1									
				a1	b2	b2	b2	c1	c1	d1	d1	e1	f2	f2	f2	g1	h1	h1						
								a1	b1	b1	b1	c1	c1	d1	d1	e1	f1	f1	f1	f1	g1	h1	h1	
																a1	b2	b2	b2	c1	c1	d1	d1	
вариант с)																								

Рис. 2. Фрагменты диаграмм совмещения циклов работы обобщенного конвейера

операций, реализуемых на одинаковых приборах. Задачу рассмотрим на примере совместно-го выполнения унифицированных схем лечения СУ-А и СУ-Р (Рис.2).

Использование минимального количества аппаратуры (по одному каждого типа) для двух процессов (Вариант а)) естественно ухудшает характеристики их реализации. Конвейер работает неравномерно, обслуживая пациентов с разными заболеваниями через каждые 15 и 25 минут. Интервал между обслуживанием пациентов с одноименными заболеваниями составляет $T=40$ минут. Будем последовательно наращивать количество аппаратуры, ослабляя зависимость между двумя схемами лечения. Рассмотрим, например, вариант б), когда имеются два прибора типа электросон, и через каждые 15 минут конвейер обслуживает пациентов с чередующимися болезнями. Интервал между пациентами с одноименной болезнью составит $T=30$ минут. Вариант с) соответствует равномерному совмещению циклов обслуживания пациентов, при этом

$T=20$ мин. Вариант д) соответствует разделению на два независимых конвейера с достаточным количеством исполнительных ресурсов для достижения максимального быстродействия с показателем $T=10$ мин.

Если связать начало работы конвейеров с реальным астрономическим временем, то помимо указанных показателей дополнительно из диаграмм совмещения можно легко определить точное времени работы и простоев оборудования, что важно для принятия управленческих решений.

3. Применение методов интеллектуального анализа для управления МТП

В современных условиях для решения задачи существенного повышения эффективности МТП требуется новые более совершенные методы оптимизации медицинских процессов и

технологии поддержки принятия решений. Для оптимизации лечебного процесса на всех уровнях необходимо создание интеллектуальной поддержки деятельности врача в виде системы взаимосвязанных баз данных и знаний, решающих частные лечебно-диагностические МТП. Современные тенденции оптимизации лечебного процесса затрагивают несколько ключевых позиций повышения эффективности лечения путем внедрения современных схем лечения, в условиях быстро пополняющегося арсенала приборных средств и медицинских технологий. Дополнительные усилия и материальные вложения, которые требуются на первых этапах внедрения интеллектуальных технологий окупаются улучшением показателей лечения, сокращением сроков лечения, снижением частоты осложнений и связанных с ними дополнительных затрат, уменьшением расходов препаратов, экономией рабочего времени медицинского персонала.

В частности использование медицинской экспертной системы позволит производить:

- рациональный выбор аппаратных и лекарственных средств;
- выбор наилучшего МТП для лечения конкретного пациента;
- оценку эффективности проводимой операции и прогнозирование возможных последствий;
- пополнение базы знаний новой информацией;
- минимизацию расходов на обобщенный по всем МТП лечебный процесс.

Средства моделирования МТП методами систем массового обслуживания предназначены для сравнительного анализа работы врачей, обнаружения проблем в ходе лечебно-диагностического процесса, своевременного устранения нежелательных тенденций, оценки эффективности управления.

Использование средств искусственного интеллекта позволяет приблизиться к реализации концепции оптимизации и безопасности (надежности) МТП. Интеллектуальная система должна позволять врачу группировать, сортировать и модифицировать МТП в соответствии с индивидуальными запросами пациентов. Автоматизация лечебно-диагностического процесса на основе интеллектуальной поддержки и полной формализации лечения делает этот процесс управляемым на всех уровнях. Требования к врачу практически сводятся к соблюдению

технологии работы с компьютерной историей болезни. Чем полнее и точнее будет он отражать в истории болезни проблемы, решения и результаты, тем большую поддержку получит последующий медицинский лечебный процесс. Экспертная система в любой момент дает полное представление о ходе событий, о положении дел в настоящий момент и прогнозах на будущее. Таким образом, обеспечивается разумная поддержка действий лечащего врача, направленная на своевременное предупреждение и устранение возможных ошибок.

Заключение

Лечебные конвейеры фактически являются технологическими процессами частного вида, но именно они привлекают внимание своими огромными возможностями оказания аппаратной и врачебной медицинской помощи населению за счет высокой пропускной способности. Большое распространение конвейерный метод обслуживания населения получил в офтальмологии. Как показывают исследования, еще не все резервы такого подхода к обслуживанию населения исчерпаны. В частности, возможности оптимизации МТП возникают в связи с переходом на индивидуальное обслуживание пациентов и построение частных процессов, которые должны быть согласованы между собой в условиях ограничений на количество врачей и исполнительные ресурсы. Использование методов оптимизации и применение интеллектуальных технологий в целом позволит реализовать резервы лечебного процесса в виде материальных ресурсов и времени, обеспечить технологическую гибкость, моделировать и корректировать МТП на всех этапах лечения с целью повышения его эффективности.

Литература

1. Назаренко Г.И., Осипов Г.С. Основы теории медицинских технологических процессов. Ч.2. Исследование медицинских технологических процессов на основе интеллектуального анализа. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 144 с.
2. Конвейерная технология отделения офтальмологической Оптико-физиологической (аппаратной) помощи. Конвейерный цикл.
<http://eyecenter.com.ua/about/konveer/index.htm>,
<http://eyecenter.com.ua/about/index.htm>.

3. Хачумов В.М., Юмагулов М.Г. Об оптимизации метода совмещения вычислительных процессов в специализированных устройствах. – В кн.: Управление в сложных нелинейных системах. – М.: Наука, 1984, с.148-152.
4. Артамонов Е.И., Исмаилов Ш-М.А., Кокаев О.Г., Хачумов В.М. Специализированные алгоритмы и устройства обработки массивов данных. - Махачкала: Дагестанское книжное издательство, 1993. – 304 с.
5. Хачумов В.М. Периодические расписания с совмещением циклов обработки данных. – Труды Первой Всероссийской научной конференции « Методы и средства обработки информации»- М.: МГУ, 2003, с. 522-527.

Хачумов Вячеслав Михайлович. Главный научный сотрудник Института системного анализа РАН. Окончил Ленинградский кораблестроительный институт в 1971 году. Доктор технических наук, профессор. Автор 130 печатных работ и 2 монографий. Область научных интересов: искусственный интеллект, распознавание образов, параллельные вычисления. E-mail: vmh48@mail.ru, vmh@isa.ru.