

## Введение

В процессе автоматизации производства, при расчете расписания работы сотрудников либо прогнозировании сроков выполнения заказов, существует необходимость привязки абстрактных расчетов, базирующихся на времени выполнения операций, к конкретно заданному календарю производственной площадки, который учитывает выходные дни, праздничные и шаблонные смены занятых сотрудников. Данный шаг позволяет оценить применимость составленного расписания в данных условиях и оценить реальные сроки выполнения заказа.

убрать подзаголовки 3 группы вложенности, убрать сокращения из заголовков, подумать над тем что писать в обзорной части: обзор решений или компонент, почему Go

## Содержание

Введение .....	1
1 Обзорная часть .....	3
1.1 Индустрия 4.0.....	3
1.2 Обзор существующих решений .....	4
1.2.1 OpenSource решения.....	4
1.2.2 Коммерческие решения .....	4
1.3 Постановка задачи .....	4
2 Система планирования и прогнозирования .....	5
2.1 Архитектура СПП.....	5
2.2 Подсистема имитационного моделирования .....	5
2.3 Модель ресурса сборочной линии.....	5
2.4 Модуль отображения логического времени на физическое ..	11
3 Организация консистентного хранилища данных .....	18
Заключение .....	19
Список использованных источников .....	20

## 1.1 Индустрия 4.0

Индустрия 4.0 - прогнозируемое массовое внедрение киберфизических систем в промышленность и повседневный быт человека. Под киберфизической системой (CPS - cyber-physical system) подразумевается взаимодействие цифровых, аналоговых, физических и человеческих компонентов, разработанных для функционирования посредством интегрированной физики и логики или другими словами: киберфизические системы - это интеллектуальные системы, которые состоят из тесно взаимосвязанных сетей физических и вычислительных компонентов. [3]

Появилось понятие индустрии 4.0 во время ганноверской выставки 2011 года как обозначение стратегического плана развития и поддержания конкурентоспособности немецкой экономики, предусматривающий совершение прорыва в области информационных технологий для промышленности. Также считается, что данное направление знаменует собой четвертую промышленную революцию. [2]

Если рассматривать производство, на что и нацелена индустрия 4.0, то, используя определение данное выше, процесс внедрения киберфизической системы разделяется на внедрение физической части (например датчики, передающие данные посредством сети Интернет) и вычислительную - систему планирования и прогнозирования.

Система планирования и прогнозирования (СПП) обеспечивает расчет объемно-календарного и оперативного планов, автоматизированный подбор поставщиков, автоматизированный перерасчет планов по фактическим результатам деятельности, направленный на минимизацию временных и финансовых потерь.

изменить по  
существую-  
щей терми-  
нологии

Объемно-календарное планирование - задание для каждой производственной площадки на заданный интервал времени, представляющее собой план-график, на котором каждому интервалу соответствует номенклатура и объем подлежащих к производству

изделий. [1]

Оперативное планирование - составление плана, согласно которому выполняется привязка каждой операции для каждой единицы продукции к временным интервалам, конкретному работнику и конкретным производственным средствам. [1]

## 1.2 Обзор существующих решений

Пара слов

### 1.2.1 OpenSource решения

FrePPLe, Odoo, qcadoo? По презентации

### 1.2.2 Коммерческие решения

Нужно найти

## 1.3 Постановка задачи

Целью данной работы является разработка системных компонент для СПП таких как:

- модуль ресурса сборочной линии;
- модуль отображения логического времени на физическое;
- организация консистентного хранилища данных.

## 2 Система планирования и прогнозирования

### 2.1 Архитектура СПП

схема и описание

### 2.2 Подсистема имитационного моделирования

Подсистема имитационного моделирования - модуль, производящий моделирование производственных процессов для для получения приблизительной оценки времени выполнения набора операций (напри-  
определение маты технологического процесса).

схема и описание

### 2.3 Модель ресурса сборочной линии

В процессе создания оперативного плана, для получения корректной оценки времени выполнения операции или набора операций СПП необходимо ввести систему ограничений, которая будет отражать как  
изменить участвующий в операции может влиять на её время выполнения.  
описание, Это привело к созданию модели ресурсов накладывающей ограничения  
добавить на выбор операции для расчета ядром имитационного моделирования.  
определе Под ресурсом подразумевается любое устройство, деталь, инструмент  
ние, или средство, за исключением сырьевого материала и промежуточного  
понимаю под продукта, находящиеся в распоряжении предприятия для производства  
ресурсом товаров и услуг. В соответствии с данным определением к ресурсам от-  
носятся в том числе и человеческие ресурсы, которые в данной системе  
не рассматриваются с точки зрения поведения или других аспектов  
человеческой жизни, а лишь с точки зрения возможности выполнить  
конкретную задачу.

Каждый ресурс представляет из себя структуру данных, которая должна реализовывать три метода:

- метод привязки операции к ресурсу;

- метод, осуществляющий проверку возможности выполнения данной операции ресурсом;
- метод, осуществляющий логику работы и в котором происходит изменение состояния данного ресурса.

Под привязкой операции к ресурсу подразумевается добавление операции в очередь на выполнение и, если это первая привязанная для данного продукта операция, то добавление продукта в очередь на распределение. Привязка осуществляется в начале работы системы, что позволяет ресурсам манипулировать ядром имитационного моделирования разрешая или запрещая выбирать привязанные к ним операции для расчета, что может повлечь за собой изменение последовательности выполнения операций и, соответственно, расчетного времени выполнения карты технологического процесса.

Проверка производится во время работы системы и именно здесь происходит отбор операций в соответствии с внутренним состоянием ресурса.

Логика осуществляется при выборке операции ядром и для каждой вызывается два раза: чтобы отметить состояние ресурса в начале и в конце расчета операции.

#### блок-схема ресурсов

СПП имеет несколько видов ресурсов, одним из которых является ресурс сборочной линии, который описывает несколько однотипных, то есть с одинаковым числом рабочих постов, физических сборочных линий. Сборочная линия - это способ перемещения заготовки от одного рабочего поста к другому; на каждом посту выполняются закрепленные за ним операции. Под постами понимаются заготовко-места, оснащенные соответствующим технологическим оборудованием и предназначенными для технического воздействия на заготовку для осуществления фиксированного перечня операций. Объединение нескольких сборочных линий в одну обуславливается упрощением как взаимодействия с ядром имитационного моделирования так и упрощением управления ресурсом

потому как даже в худшем случае (когда все линии будут различны по количеству постов) количество ресурсов будет всегда меньше либо равно количеству физических сборочных линий, а также возможностью инкапсуляции реализации распределения заготовок и связанных с ними операций по сборочным линиям внутри ресурса.

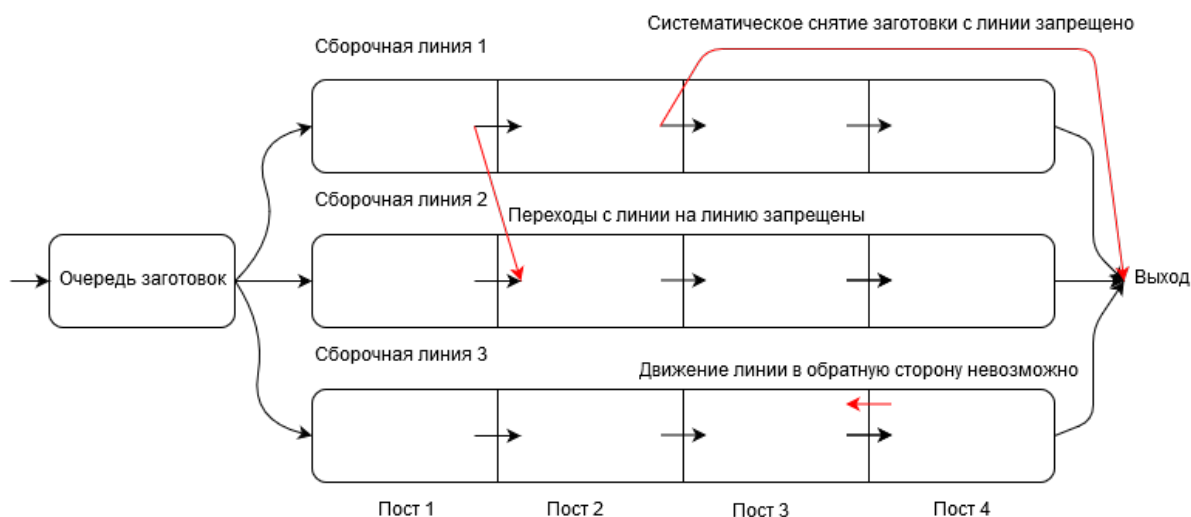


Рисунок 2.1 — Схема ресурса с вариантами перемещения заготовки внутри

Добавить  
цифры к ли-  
ниям, чтобы  
ссылаться на  
конкретные  
работы

Главным предназначением данного ресурса является ограничение перемещения продукции внутри ресурса (см. 2.1), и моделирование работы физического сборочного конвейера. С одной стороны ограничивается перемещение между сборочными линиями: к какой продукт был привязан, на той он и останется до окончания выполнения всех операций, относящихся к данному продукту и привязаны к постам данной сборочной линии. С другой - ограничивается перемещение продукции между рабочими постами: продукт должен двигаться последовательно с поста на пост (см. 2.1).

Одной из ключевых особенностей практически любой сборочной линии является синхронизация передвижения продукции между постами. Это означает что такт производства (время, в течение которого заготовка пребывает на посту) будет равен максимальной временной отметке среди всех постов или другими словами: каждая заготовка сможет сменить пост только после того, как все остальные заготовки будут готовы к смене своих постов.

Для реализации необходимого функционала, были введены структуры, описывающие линии, посты, очередь продукции, и про-

что это, по-  
яснение,  
ссылка на  
предыдущий  
рисунок

привязки операций к постам линий. Каждая из линий ресурса характеризуется временем начала текущего рабочего такта сборочной линии, максимальным временем рабочего такта и набором рабочих постов, каждый из которых описывается состоянием (выполняются работы, простаивает, отсутствует продукция на посту), временной меткой данного поста и продукцией, которая на данный момент находится на нем. Максимальное время отражает какое время работал пост с начала работы системы. Так как карта технического процесса позволяет, при возможности, производить параллельные операции над заготовкой, то необходимо знать, с какого времени был начат такт, для чего и вводится время начала работы поста. Время начала текущего рабочего такта показывает время с которого началась работа на текущем посту над текущей заготовкой и для всех постов она равна (из-за синхронизации постов).

схема постов с флагами

Проекция привязки операций к постам линий - структура данных необходимая для динамической привязки операций. Так как во время привязки операции система не может оценить время выполнения продукции и, следовательно, распределив продукты до начала работы может сложиться ситуация, когда одна из линий будет работать намного дольше или наоборот по сравнению с другими линиями, что может привести к простоям производству. Следовательно необходимо, не привязывая операцию к определенной линии, обозначить к какому посту относится операция. Для этого и была создана данная структура, содержащая то же количество постов что и остальные линии, но не описывающая какую либо физическую сборочную линию, а являющуюся по сути проекцией всех остальных. Внутри каждого поста данной проекции находится хэш-таблица (структура данных, позволяющая хранить пары (ключ, значение) и выполнять три операции: операцию



добавления новой пары, операцию поиска и операцию удаления пары по ключу), в которой ключом является конкретная единица продукции, характеризующаяся типом продукции (названием) и серийным номером, а значением - список операций, которые необходимо выполнить над данным продуктом на данном посту.

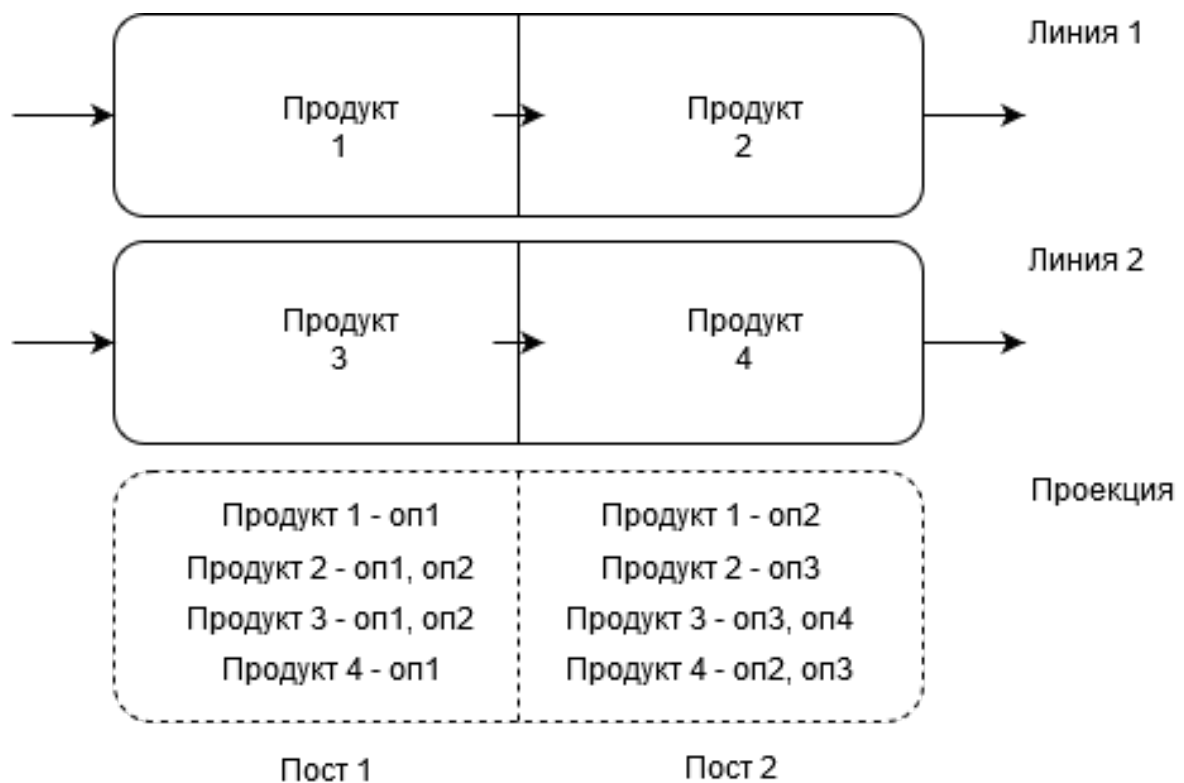


Рисунок 2.2 — Схема ресурса с проекцией привязки операций к постам

Во время выполнения система, для определения возможности выполнения операции опрашивает все линии с целью определения возможности выполнения данной операции и местонахождения продукта:

— при отсутствии продукта на всех линиях:

1) инициируется проверка всех линий на возможность загрузки первого поста (то есть пуст ли он);

2) из получившегося списка линий (если количество больше нуля, иначе переход к 2.3) выбирается линия, временная отметка которой является наименьшей среди всех доступных линий;

fix reference

3) возвращается разрешение на выполнение данной операции и временная метка, выбранная на предыдущем шаге;

4) иначе (количество линий равно нулю) возвращается запрет на выполнение данной операции на текущей итерации.

— если продукт находится на какой-либо линии, то производится опрос проекции:

сменить метку

— при нахождении нужной операции на посту, на котором находится в данный момент продукт, возвращается разрешение на выполнение и временная метка, с которой может производиться данная операция;

— иначе возвращается запрет выполнения.

Ядро имитационного моделирования последовательно переберет все доступные на данной итерации и выберет одну из тех, что получили разрешение от всех ресурсов на выполнение. Если таковых не будет, то система известит о невозможности дальнейшей работы вследствие логической ошибки при задании параметров. В обратном случае произойдет вызов метода для того, чтобы отметить состояние ресурса в начале выполнения операции. При этом если продукт не был загружен на линию, то произойдет загрузка продукта на линию с минимальной временной отметкой, иначе произойдет проверка на возможность сдвига линии.

Во второй раз метод будет вызван для того, чтобы отметить окончание операции, что означает что данная операция будет удалена из проекции, временная метка поста будет изменена с учетом длительности операции, и, если операций на данном посту для данного продукта не осталось, то состояние поста изменится на 'готов к сдвигу линии' и будет совершена проверка возможности сдвига линии.

узнать нет ли определений

Сдвиг линии - процесс, при котором все посты на сборочной линии передают свою заготовку на следующий пост и принимают заготовку с предыдущего. Данный процесс единовременен для всех постов, не может быть разделен или проигнорирован каким-либо постом и

выполняется после получения от всех постов сигнала о готовности к сдвигу. При этом происходит синхронизация постов, то есть все посты, и, соответственно вся линия, получают одну временную отметку - сумма предыдущей отметки начала рабочего такта и длительности текущего рабочего такта линии. С этой отметки начинается отсчет следующего такта.

диаграмма ганта по рабочему такту?

описание движения линии

описание синхронизации линии

## 2.4 Модуль отображения логического времени на физическое

Так как расчет выполнения операции (как и всей карты технологического процесса) ядром имитационного моделирования производится в логическом времени, то есть во времени отсчитываемом от нуля, существует необходимость в отображении (соответствие между элементами двух множеств) логического времени на физическое, которое используется в повседневной жизни. Одной из главных сложностей, возникающих при этом, является неоднородность рабочего времени, которая проявляется в рабочем графике (чередование интервалов рабочего и нерабочего времени), наличии выходных, перенесенных дней. Другой сложностью является наличие в системе 'обратного расчета', при котором планирование ведется от даты 'дедлайна' (дата или время, к которому должна быть выполнена задача), что накладывает некоторые ограничения на реализацию данной компоненты.

Для отображения логического времени на физическое был предложен итеративный процесс, который осуществляет 'переход' к необходимому времени путем последовательного перебора дат.

Как было сказано ранее, из-за того что рабочее время является дискретным, мы не имеем возможности просуммировать начальную дату и значение поданного логического времени. Это ведет к тому, что необходимо синхронизировать логическое и физическое время, и

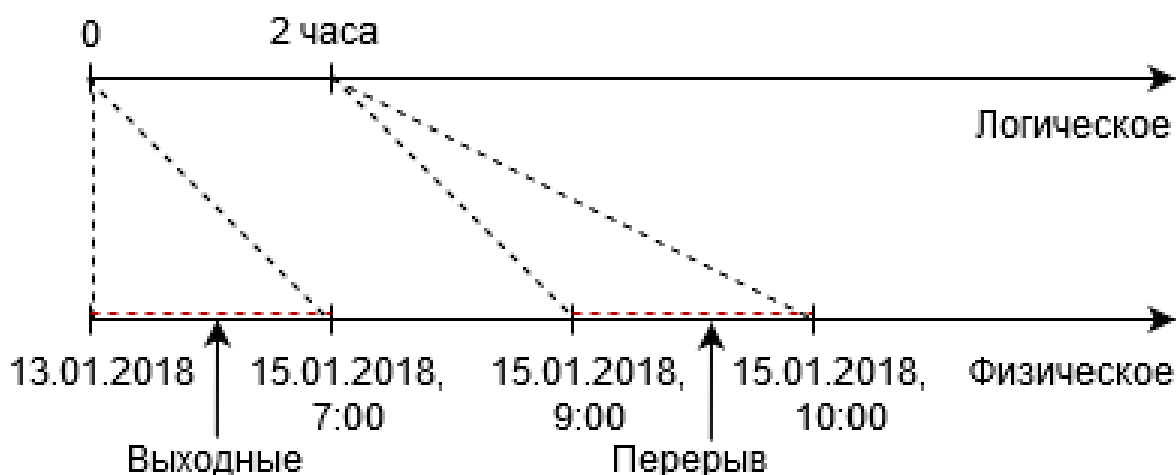


Рисунок 2.3 — Пример отображения оси логического на ось физического времени

это достигается путем последовательного периодического отображения конкретного логического времени на физическое (см. 2.3). Это подразумевает под собой наличие двух массивов чисел или 'осей':

- оси логического времени, которая начинается с нуля и единица которой соответствует одной секунде (необходимости в более точном отображении нет);

- оси физического времени, на которой может быть отложено любая дата физического времени, отсчет которой начинается 1 января 1970 года 00:00:00 (эпоха Unix).

Особенностью оси физического времени является наличие на ней 'выколотых' промежутков времени, в которые работа не ведется и операции не выполняются, следовательно, об этих промежутках системе необходимо знать, что подразумевает данную информацию как входные данные.

Входными данными для модуля являются:

- дата с которой необходимо начинать отсчет;
- логическое время, которого необходимо достигнуть;
- конфигурация модуля.

Дата является точкой на физической оси, на которую будет отображаться нуль логической. Представляет собой количество секунд, прошедшее с начала эпохи Unix.

Логическое время - количество секунд, которое должно быть отложено на логической оси. В силу непрерывности физической оси, каждой логической точке сопоставляется отрезок на физической оси, сопоставляется пара чисел - границ данного отрезка.

Конфигурация модуля - вспомогательные данные используемые для определения модулем какие промежутки необходимо пропускать в процессе работы. Состоит из данных о рабочем графике занятого персонала (интервалы рабочего времени), шаблонном расписании на неделю (например, суббота, воскресенье - выходные, пятница - 'короткий' день, остальные - стандартные рабочие дни) и набор информации о датах, которые являются днями-исключениями и соответствующей информацией о графике работы в данные дни.

После запуска, модуль получает параметры и совершает проверку последних на корректность и непротиворечивость (например, если два дня имеют пересечения временных промежутков то они противоречивы, ведь ресурс не может работать одновременно в двух сменах) как в рамках смен одного так соседних дней. Далее производится определение режима работы: прямой, обратный расчет или проверка времени:

- прямой расчет - задается дата начала отсчета, логическое время и расчет ведется до нахождения даты окончания работ (см 2.4);
- обратный расчет - задается дата дедлайна, логическое время и расчет ведется до нахождения времени начала работ(см 2.5);
- проверка времени - задается дата и логическое время равное нулю, что запускает оба предыдущих расчета пока не будет найдено первое ненулевое время в обоих направлениях от даты начала расчета(см 2.6).

Выбрав режим работы сбрасывается счетчик текущего логического времени до нуля и счетчик текущего физического времени

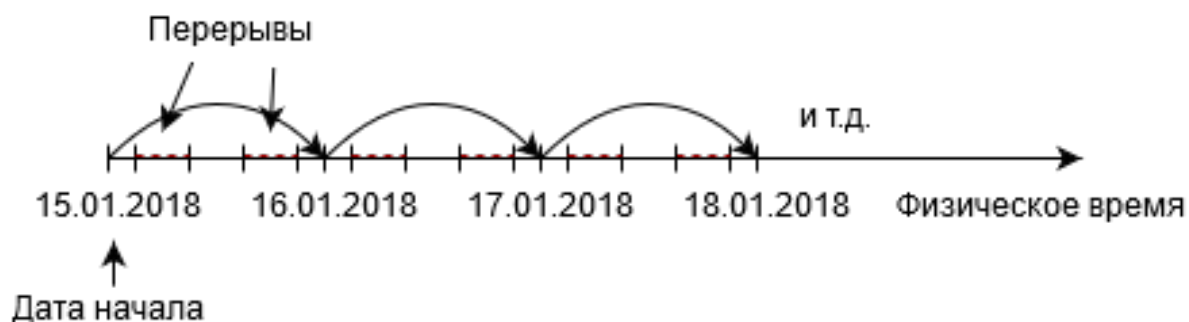


Рисунок 2.4 — Схема прямого расчета



Рисунок 2.5 — Схема обратного расчета

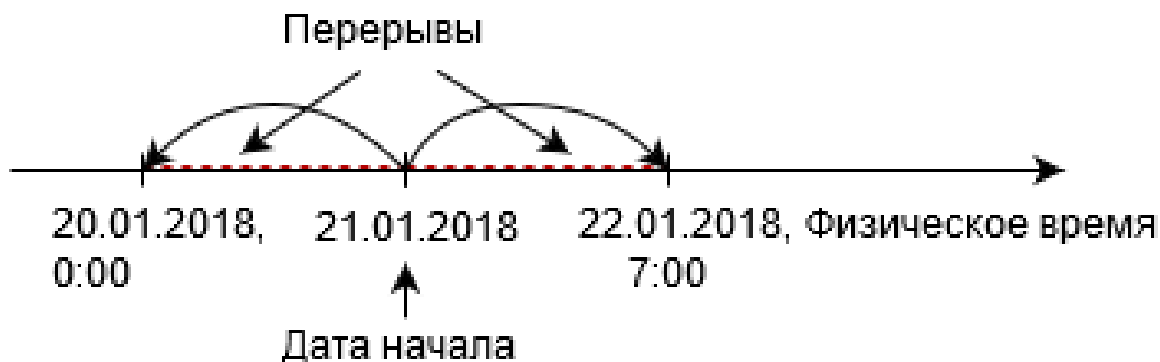


Рисунок 2.6 — Схема проверки времени

до стартовой даты. Затем итеративно, пока текущее логическое время не превысит необходимое производится поиск следующей даты. Алгоритмически, поиск даты работает следующим образом:

- 1) определяются интервалы рабочих смен относящихся к текущему дню:
  - а) при отсутствии таковых, к текущей дате прибавляется один день и затем возврат к п.1.

2) отсортированные в порядке возрастания интервалы последовательно перебираются и их длительности прибавляются к текущему логическому и физическому времени:

а) при превышении текущим логическим временем необходимого, переход к п.3;

б) если все интервалы были просуммированы, но необходимое логическое время не превышено - переход к п.1;

3) разность текущего и необходимого логического времён вычитается из физического времени, при этом сохраняя данное значение как левую (правую при обратном расчете) границу и продолжается расчет для выявления правой (левой) границы промежутка.

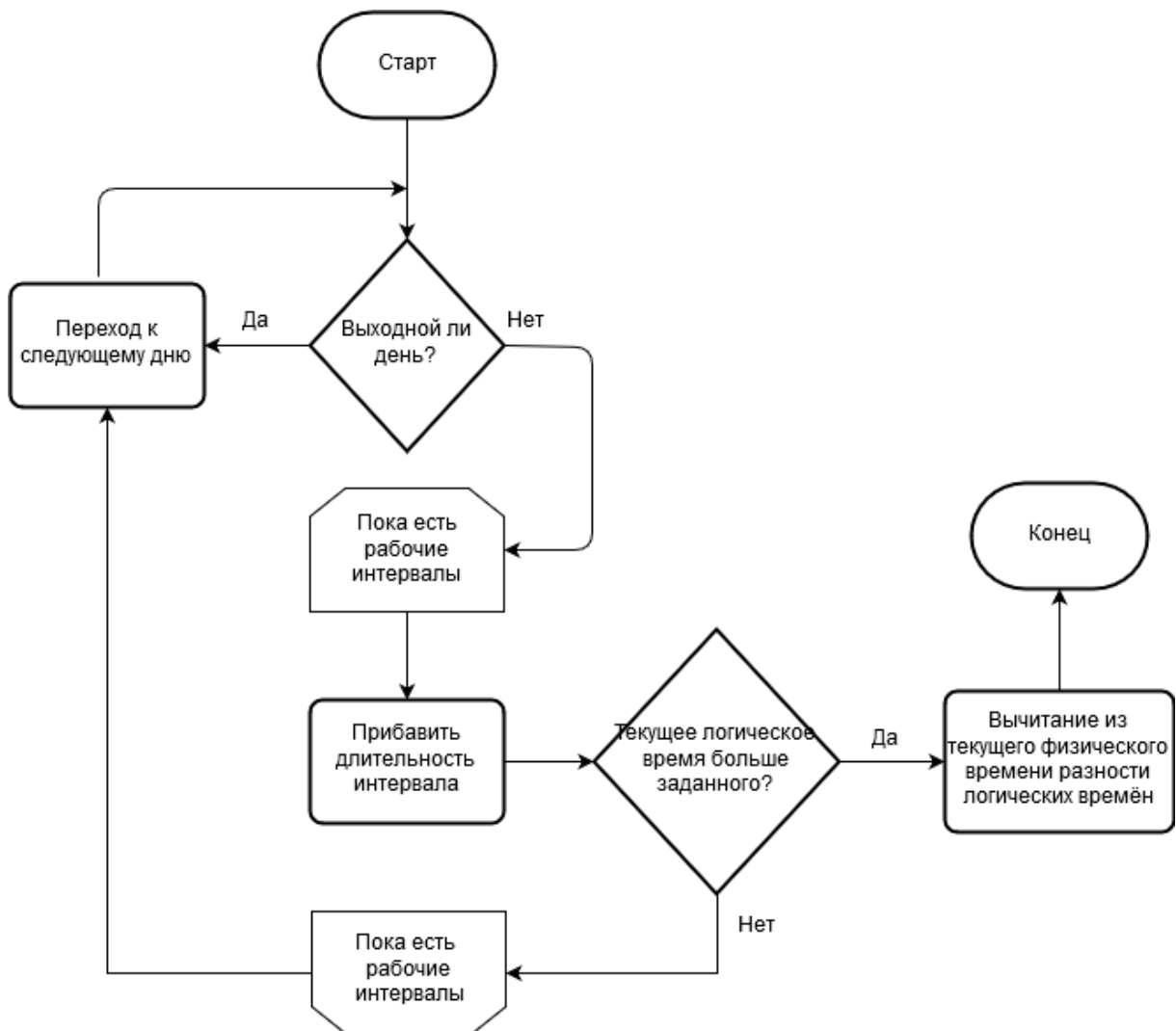


Рисунок 2.7 — Блок-схема модуля

Определение интервалов рабочего времени происходит взятием даты из текущего физического времени, после чего начинается определение принадлежности данной даты к перенесенным датам после чего есть два варианта развития ситуации:

- дата является перенесенным днем и модуль получает информацию о расписании которое нужно применить;
- дата не является перенесенным днем и получение информации происходит исходя из того, каким днем недели является данная дата.

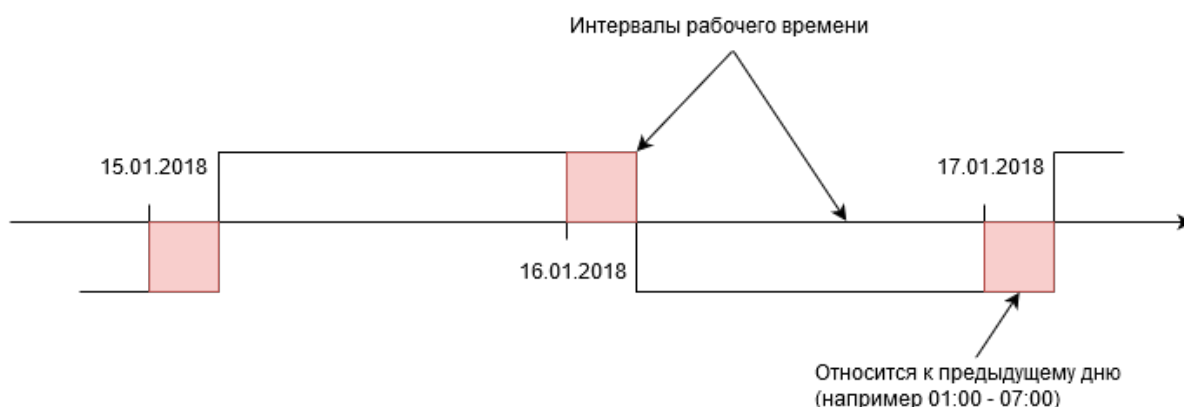


Рисунок 2.8 — Смещение интервалов рабочего времени относительно рабочего дня

Так как на реальных производственных площадках нередко случается так, что рабочие интервалы, принадлежащие к рабочему дню и сам рабочий день смещены относительно друг друга (см. 2.8). При этом возникают трудности с определением интервалов рабочего времени в связи с тем, что для определения используется количество секунд с начала эпохи Unix и до нуля часов нуля минут и нуля секунд нужной даты, по которому, используя инструментарий языка, каким днем недели является нужная дата и, соответственно, задать для нее шаблон рабочего времени. И если эти трудности практически не влияют на прямой расчет, то с обратным все немного сложнее. Так как одним дне 86400 секунд и, если рассматривать границу двух дней (см. 2.9), то 86400 секунда предыдущего дня будет равна или тем же что и нулевая секунда нового дня. Можно сказать, что 86400 - левый предел, а 0 - правый предел в данной точке (особенно если изображать в виде



окружности). Но, в связи с тем, что данная недетерминированность присутствует лишь при рассмотрении человеком данной ситуации, а система может распознавать диапазон от 0 до 86399 секунд, то для определения интервалов рабочего графика (при обратном расчете) используется именно величина в 86399 секунд, при условии, что данное допущение не влияет на расчет, как последняя секунда текущего дня.



Рисунок 2.9 — Граница двух дней

Возвращаясь к пункту3 алгоритма, при нахождении нужного времени, работа модуля не прекращается, а ведется до момента нахождения второй границы промежутка, на который отображается необходимое логической время.

Как было сказано ранее - физическое время непрерывно, а следовательно когда производится отображение на него логического времени, в результате должен получиться промежуток (см. 2.3), который и характеризуют две границы. Эта пара чисел, характеризующие начало и конец отрезка которые отображаются на логическую ось в точке, значение которой равно входному логическому времени и являются выходными данными данного модуля.

Результаты работы системы

### 3 Организация консистентного хранилища данных

необходимость

математическое обоснование?

схема бд

## Заключение

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кремлев А.С., Маргун А.А., Юрьева Р.А., Власов С.М., Васильков С.Д., Пенской А.В., Николаев Н.А., Слита О.В., Жиленков А.А., Вахвиянова П.Д., Волков А.В., Коновалов Д.Е., Добриборщ Д.Э., Зименко К.А., Кирсанова А.С., Базылев Д.Н., Гребнев И.С., Болдырев И.П., Евдокимов П.С., Зимин А.Ю., Иванов В.О., Черных А.В., Халанчук Р.А., Анисимов И.В., Тулькова И.А., Лопатский А.В., Июдина О.С., Гурин Д.А., Алексанин С.А., Малкина Е.А., Иващенко А.А., Кукин Н.А., Куприенко А.М., Леонтьев В.М., Литвяков А.С., Малютина Е.В., Попова В.О., Сурский П.В., Халанчук Р.А., Уваров М.М., Якобсон А.К., Андрианов Д.И., Анспук Д.А., Альтшулер Е.В., Телешман А.И., Николаев П.С., Пронин К.В., Мухина И.В., Вражевский С.А., Голубей А.А., Дунаев В.И., Матвеев А.А., Медведевский Е.В., Круглова А.И., Корепанов П.Ю., Колеватова М.В., Кердоль З.О., Иголкин В.А., Седунов Д.Ю., Веровенко В.Ю., Вороненкова Ю.В., Бормотов А.В., and Белявская И.Н. Интеллектуальные технологии цифрового производства. Technical report, 2018.

2. Новиков Олег. ЧТО ТАКОЕ ИНДУСТРИЯ 4.0? ЦИФРЫ И ФАКТЫ, 2015.

3. Thomas P. Roth, Yuyin Song, Martin J. Burns, Himanshu Neema, William Emfinger, and Janos Sztipanovits. Cyber-physical system development environment for energy applications, 2017.