

ООО «Комсигнал»

Алгоритмы адаптивного управления

**г. Екатеринбург
2026 г.**

Адаптивное управление

Алгоритмы адаптивного управления реализованы начиная с модели КДУ-3Н, версия 1 на несерийных прошивках. Должна быть установлена прошивка kdu3n14c, поддерживаются первые 3 алгоритма списка в упрощенном варианте.

В версии 2 КДУ-3Н добавлен еще один алгоритм, расширены возможности предыдущих и исправлены незначительные ошибки (kdu3n237).

В версии 3 КДУ-3Н начиная с прошивки kdu3n324 добавлен пятый алгоритм сокращения времени фазы.

Для поддержки всех алгоритмов версия конфигуратора должна быть не ниже 1.5.3.13.

N	Алгоритм	Описание	Примечания
1	Поиск разрывов	Сигнал переключается с разрешающего на запрещающий при обнаружении временного интервала между прибывающими к перекрестку автомобилями, большего или равного заданному (Т экипажное). В противном случае длительность разрешающего сигнала продлевается на длительность заданного интервала (до Т основного). Время фазы не может быть меньше Тминимального. Фиксированные управляющие параметры.	При наличии разрывов время цикла светофорного объекта сокращается, координация невозможна.
2	Поиск разрывов с сохранением времени цикла	Аналогично алгоритму 1, но сэкономленное время фазы добавляется к последней фазе.	Формально возможно координированное управление, последняя фаза всегда будет иметь приоритет.
3	Вызов ТВП или фазы	По срабатыванию детектора происходит вызов определенной фазы. Запрос на фазу формируется сразу после срабатывания или спустя некоторое время (время задержки вызова) на накопление очереди. Отработка вызванной фазы выполняется идентично вызову ТВП: либо все фазы до	Вызов фаз ТВП несовместим с расширенным годовым планом. Каждый вызов фазы

		требуемой сокращаются до $T_{\min}$ и переключаются по очереди, либо происходит переход в вызванную фазу через универсальные промтакты (или «кругом красные»).	нарушает координацию объекта.
4	Пересчет времени фаз с сохранением времени цикла	Выполняется пересчет длительности фаз внутри цикла по данным детекторов за предыдущий цикл. Длительность разрешающих сигналов меняется от $T_{\min}$ до $T_{\max}$. Время цикла фиксированное. $T_{\max}$ может превышать $T_{\text{основное}}$ по плану. Наибольшее возможное время $T_{\max}$ это время цикла минус сумма $T_{\min}$ всех фаз.	Времена зеленых соответствует фактической загрузке направлений движения.
5	Сокращение времени фазы без сохранения времени цикла	При срабатывании детектора или детекторов после $T_{\min}$ фазы происходит переход в следующую фазу.	

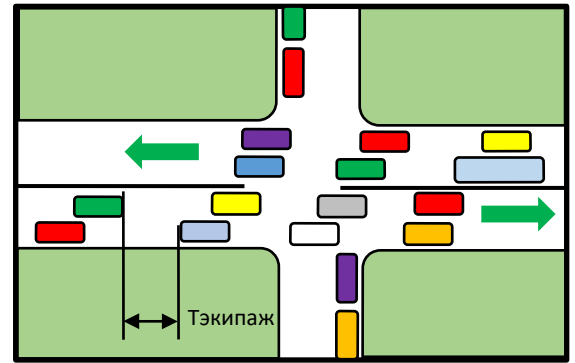
Датчики движения подключаются к блоку обработки информации (БОД), который передает информацию в КМД-1 и по интерфейсу RS-485 в контроллер КДУ-ЗН.

Мы надеемся, что перед использованием адаптивного управления Вы, как минимум, ознакомились с теорией адаптивного управления, изложенной в учебной литературе.

В частности, с одним из основных терминов для адаптивного управления - **поток насыщения**. Американское руководство по пропускной способности дорог HCM2000 описывает его так: поток насыщения – это максимальная интенсивность разъезда транспортных средств из очереди в течение зеленого сигнала. Эта интенсивность достигается, как правило, между 10-й и 14-й секундами работы зеленого сигнала, что соответствует проезду над стоп-линией передней оси 4-го ÷ 6-го автомобилей после включения зеленого сигнала. Говоря простыми словами, физически невозможно пропустить через перекресток автомобилей больше, чем поток насыщения. Цифра в 1900 автомобилей в час по полосе близка к идеальному потоку насыщения.

1. Поиск разрывов.

Рекомендуем как самый простой и самый эффективный алгоритм локального управления на незагруженный перекрестках (если машины еще едут). Например, перекрестки на въезде в населенные пункты, значительно удаленные от соседних перекрестков, и т. д.



Теория. Ставится задача пропустить очередь автомобилей, скопившуюся на красный сигнал. Автомобили, которые приедут позже, можно не пропускать. Исходя из значения потока насыщения на конкретном перекрестке можно прикинуть сколько секунд требуется транспортному средству для проезда перекрестка скопившейся очередью («пачкой»). Например, для потока насыщения 1900 автомобилей в час на проезд одного потребуется примерно 1,9 секунды ($3600/1900$). Помимо общих факторов (времени года, времени суток, уклона, стиля вождения в населенном пункте и т.д.) величина потока насыщения будет зависеть от особенностей перекрестка (ширина полосы, кривизна проезда «прямо», радиус скруглений при повороте и т.д.). Имеет смысл выбрать время разрыва (Тэкипажное) чуть больше значения, рассчитанного по потоку насыщения – автомобиль может быть груженым, водитель уставшим и т.д. Поэтому на данном перекрестке надо начать подбор T экипажного с 2-3 секунд.

Говоря простыми словами алгоритм основан на том, что тип прибытия транспортного средства к перекрестку влияет на дистанцию между автомобилями при проезде перекрестка. Водители рассредотачиваются по проезжей части, и «хвост» «пачки» автомобилей едет с бОльшей дистанцией, чем «голова». Поэтому обнаружение разрыва в «пачке» на время более Тэкипажного можно считать признаком проезда группы автомобилей. Точнее, моментом уменьшения потока насыщения. Если за время Тосновное фазы (по плану) такого не случится, значит просто будет отработано плановое время фазы.

Какие «подводные камни» алгоритма, кроме сокращения времени цикла? По мере разряжения потока водители будут подсознательно выбирать безопасный боковой интервал побольше, то есть ехать в шахматном порядке. При наличии нескольких полос в направлении разрыв по каждой полосе будет превышать Тэкипажное всего направления. То есть дорога уже пустует, а контроллер этого не детектирует. Одно из названий ситуации – эффект «пинг-понга».

Другой подвох связан с неравномерным распределением автомобилей по полосам. Большинство водителей, едущих прямо, встанет в средние полосы. Крайние полосы для поворота направо и налево в начале фазы всегда будут

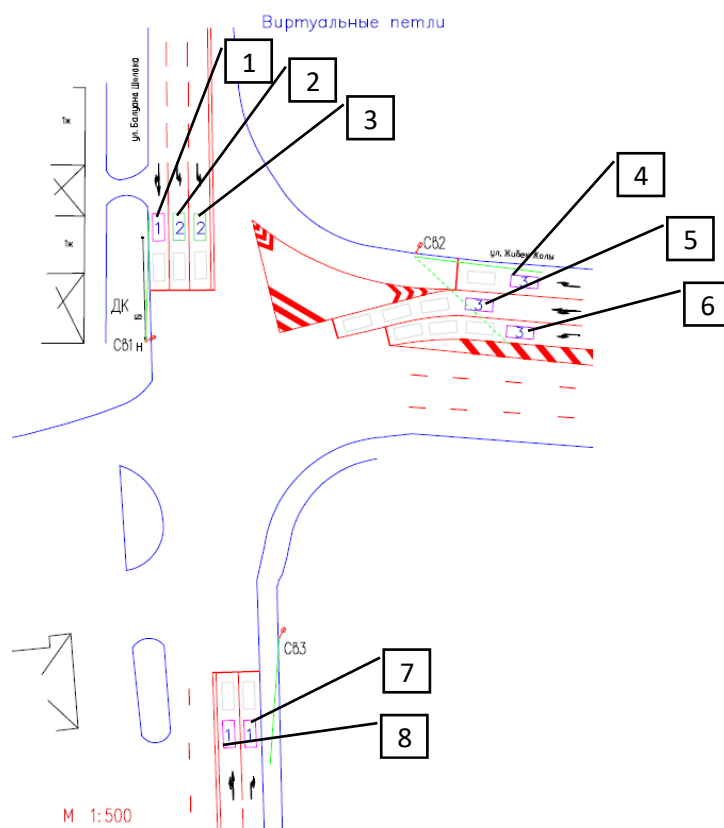
иметь скопление автомобилей из-за пропуска пешеходов или (и) встречного направления. Либо из-за того, что автомобили, проехавшие по ним прямо, сразу за перекрестком упрутся в припаркованные автомобили. Если ориентироваться только по крайним полосам, разрыв транспортного потока будет обнаружен ранее реального проезда «пачки».

Алгоритм работает по текущим данным, будущее не предсказывает, прошлое не учитывает, поэтому **использование табло обратного времени просто недопустимо**. Сам дорожный контроллер не знает, когда произойдет переключение светофора. Индицировать время промтакта, конечно, можно. Но какого-то смысла в этом не просматривается.

Если блок БОД обнаружит отказ датчика, то такой датчик будет считаться контроллером сработавшим. Это приведет к тому, что все направление (фаза движения) отработает плановое время, затора из-за перехода на Тминимальное не будет. Оптимизация движения будет идти за счет оставшихся фаз с работоспособными датчиками.

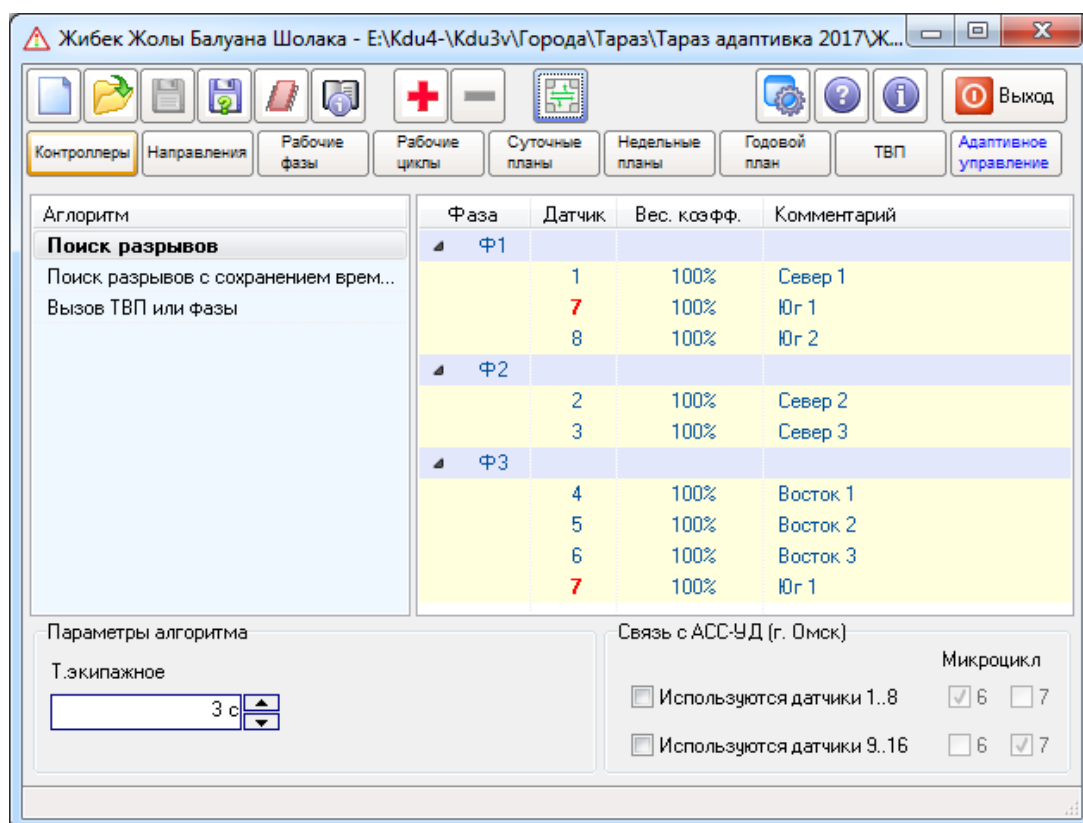
Теоретически рубеж детектирования находится примерно за 50 метров от стоп-линии (за 3 секунды зеленого мигания машина на скорости 60 км/ч проедет стоп-линию, у остальных будет время спокойно остановиться до красного). Практически же, за счет Тминимального фазы, можно расположить детекторы на стоп-линии и детектировать второй или третий ряд машин. По сути, получаем модифицированный алгоритм поиска разрыва с управлением по длине очереди (косвенным способом). Вместе с уменьшением Тэкипажного есть шанс победить эффект «пинг-понга». Размещение детекторов на стоп-линии также позволяет использовать те же самые датчики для сбора телеметрии для системного адаптивного управления.

Конфигурирование КДУ. На плане перекрестка обозначаются автомобили и зоны детектирования (виртуальные петли). Указывается, на какую фазу работает тот или иной датчик (на рисунке ниже – цифра в цветной рамке). Для удобства датчики нумеруются в пределах перекрестка (линии-выноски с цифрами).



В программе конфигуратора на вкладке адаптивного управления выбирается алгоритм управления, указывается время Тактипажного. Кнопкой с красным плюсом добавляются фазы движения, указываются их номера. Потом в списке мышкой выделяется фаза и добавляются датчики, работающие на сокращение времени этой фазы (к слову, их может и не быть, если фаза движения настолько важна). Для каждого датчика указывается весовой коэффициент. В данном алгоритме он может принимать два значения – 100% или 0% - работает датчик или нет. Исключение датчика из числа работающих применяется как временное решение при отказах техники, проблемах с очисткой полос от снега, и прочих нестандартных ситуациях. Также по каждому датчику пишется комментарий, который позволит Вам быстро понять, что это за датчик. В данном случае указаны стороны света с отсчетом от края проезжей части, что облегчает жизнь технологу системы АСУДД КС.

На рисунке ниже пример заполненной вкладки конфигуратора.



В данном случае датчик 7 для поворота направо используется в двух фазах движения. Конфигуратор выделил его красным цветом, чтобы оператор обратил на него внимание. Но ошибки нет. Машин на правый поворот скапливалось мало, и этот затор рассасывался достаточно быстро. Чем пользовались водители из средней полосы. По результатам тестовой работы было принято решение использовать нарушителей, не соблюдающих рядность движения, для быстрой разгрузки перекрестка при проезде прямо.

2. Поиск разрывов с сохранением времени цикла

Аналогичен алгоритму 1 за одним исключением. Время, которое было сэкономлено на каждой фазе движения суммируется, и отдается последней фазе, превышая плановое время фазы Тосновное. Таким образом не только выдерживается время цикла, но и последняя фаза получает приоритет движения. Как правило, на нее назначается зеленый по наиболее загруженной главной дороге (магистрале). Нет смысла ставить на последнюю фазу датчики движения.

В чем подвох? Да в том, что начало зеленого по магистрали будет «плавать», и как правило, в сторону более раннего проезда перекрестка. Да, этот перекресток разгрузится. Но машины встанут на следующем, где пока еще горит красный. Если длины перегона не хватит, на текущем перекрестке возникнет вторичный затор (горит зеленый, а ехать некуда). И у диспетчера системы могут быть проблемы при оперативных проводках – обычно магистраль закрепляется за первой фазой, а не последней.

Время цикла используется из локального плана, поэтому для бесшовного переключения видов управления системный и локальный планы должны совпадать.

Все остальные действия по назначению датчиков, их вводу в конфигурактор, и т. д. полностью аналогичны. По-прежнему **использование табло обратного отсчета лишено здравого смысла**. Это адаптивное управление.

3. Вызов ТВП или фазы

В основном алгоритм используется для выезда с прилегающей территории при малом количестве выезжающих за счет вызова фазы, которой нет в цикле светофорного объекта. Теоретически может использоваться для вызова фазы с левым поворотом. Алгоритм идентичен нажатию кнопки ТВП, но позволяет отложить вызов на время накопления очереди машин. Рубеж детектирования находится на стоп-линии, на первой машине. Для пешеходов – на накопительной площадке перед переходом.

В чем подвох? Алгоритм не стыкуется с российским менталитетом и потенциально способен создать пробку на выезжающем (или левоповорачивающем) направлении при технических неисправностях датчиков и некорректной настройке порогов их срабатывания. Причем проблемы создает любой вид отказа датчика (на срабатывание или несрабатывание). Рекомендуется увеличение числа датчиков для вызова фазы. В случае программы (фазы) ТВП можно предусмотреть кнопку ручного вызова ТВП. При вызове фаз ТВП мы также рекомендуем использовать табло «Ждите», чтобы предотвратить асоциальное поведение выезжающих водителей.

Во время эксплуатации наиболее частыми проблемами становится либо недостаточная чувствительность датчика и накопление очереди (например, зимой машины холоднее, и если они выезжают с уличной стоянки, применение простых инфракрасных датчиков создаст проблемы), либо чрезмерная чувствительность датчика (тогда возникают ложные срабатывания на праздного гуляющих пешеходов, кошек и собак). Пренебрежение сигналами светофора в выходном промтакте ТВП также может вызвать одно ложное срабатывание после проезда нарушителя.

Следует иметь в виду, что в данном случае вызов дополнительной фазы нарушает координацию, и скорее всего, вызывная фаза будет отработана в ущерб первым фазам цикла светофорного объекта (они просто отработаются по $T_{мин}$).

Если блок БОД обнаруживает отказ датчика, то отказавший (или неподключенный) датчик считается несработавшим, находящимся в пассивном состоянии. Это позволяет остальному перекрестку хотя бы продолжить работу в основном цикле (в противном случае время фаз в основном цикле было бы сокращено до $T_{мин}$ и постоянно следовали бы вызовы фаз/ТВП для «пустого» направления, вызывая коллапс перекрестка). Использование двух или более датчиков на вызов фазы повышает надежность работы, поскольку датчики опрашиваются по ИЛИ.

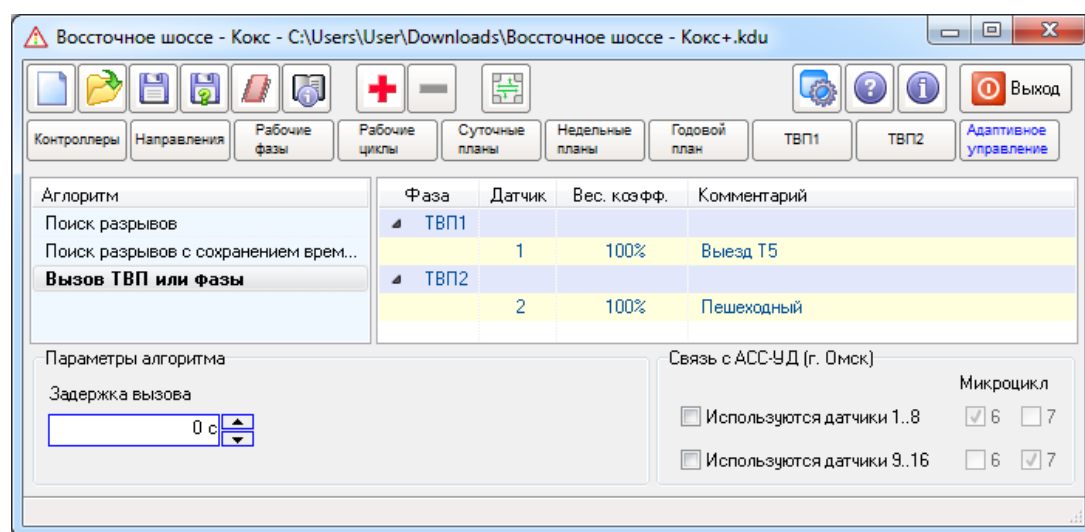
Использование табло обратного отсчета с красно-зеленым отсчетом лишено смысла. Максимум, возможно применение табло для отсчета времени зеленых сигналов светофоров, работающих в основном цикле. Вызов дополнительных фаз будет сбивать отсчет по красному и нарушать координацию

– это адаптивное управление. Дорожный контроллер не предсказывает будущее, он обрабатывает текущие сигналы. Вызов фазы для него происходит неожиданно.

В программе конфигуратора на вкладке адаптивного управления выбирается алгоритм управления, указывается время задержки вызова. Если указать ноль, запрос на фазу будет создан немедленно, по событию. Если указан не ноль, сначала будет отработана задержка. При вызове фазы ТВП эта задержка может суммироваться с Тминимальным фазы (фаз) рабочего цикла, если вызовы происходят слишком часто.

Конфигурирование КДУ-3. Кнопкой с красным плюсом на вкладку адаптивного управления добавляются фазы движения или программы ТВП, указываются их номера. Потом в списке мышкой выделяется фаза и добавляются датчики, работающие на вызов этой фазы (если датчиков несколько, срабатывание происходит по ИЛИ). Для каждого датчика указывается весовой коэффициент. В данном алгоритме он может принимать два значения – 100% или 0% - работает датчик или нет. Исключение датчика из числа работающих применяется как временное решение при отказах техники и прочих нестандартных ситуациях. Также по каждому датчику пишется комментарий, который позволит Вам быстро понять, что это за датчик.

На рисунке ниже пример заполненной вкладки конфигуратора.



Пример выше составлен для модели КДУ-3.2Н версии 2, она позволяет вызывать до 4-х фаз (программ ТВП). Модель КДУ-3Н версии 1 с прошивкой kdu3n14c позволяет вызвать только одну фазу.

4. Пересчет времени фаз с сохранением времени цикла

Рекомендуем в качестве следующего алгоритма после поиска разрыва. И на перекрестках, где машины начинают стоять в пробках.

Основан на постобработке информации с датчиков за предыдущий цикл работы. За каждой фазой сохраняется значение $T_{\text{минимального}}$, а если фаза не использует датчики (или хотя бы один неисправен), то $T_{\text{основного}}$. Рассчитывается доля проехавших по каждому направлению (фазе) и оставшееся время от $T_{\text{минимального}}$ до $T_{\text{основного}}$ перераспределяется по фазам движения с датчиками. При этом максимальное время работы зеленого сигнала может превысить время $T_{\text{основное}}$ фазы. Наибольшее возможное время $T_{\text{максимального}}$ это время цикла по локальному плану минус сумма $T_{\text{мин}}$ всех фаз (или $T_{\text{основное}}$ для фаз без датчиков) и промтактов. Так как используется время цикла из локального плана, для бесшовного переключения видов управления системный и локальный планы должны совпадать. При одинаковых коэффициентах направлений приоритет получает направление с более шустрыми водителями (с более высокой интенсивностью движения).

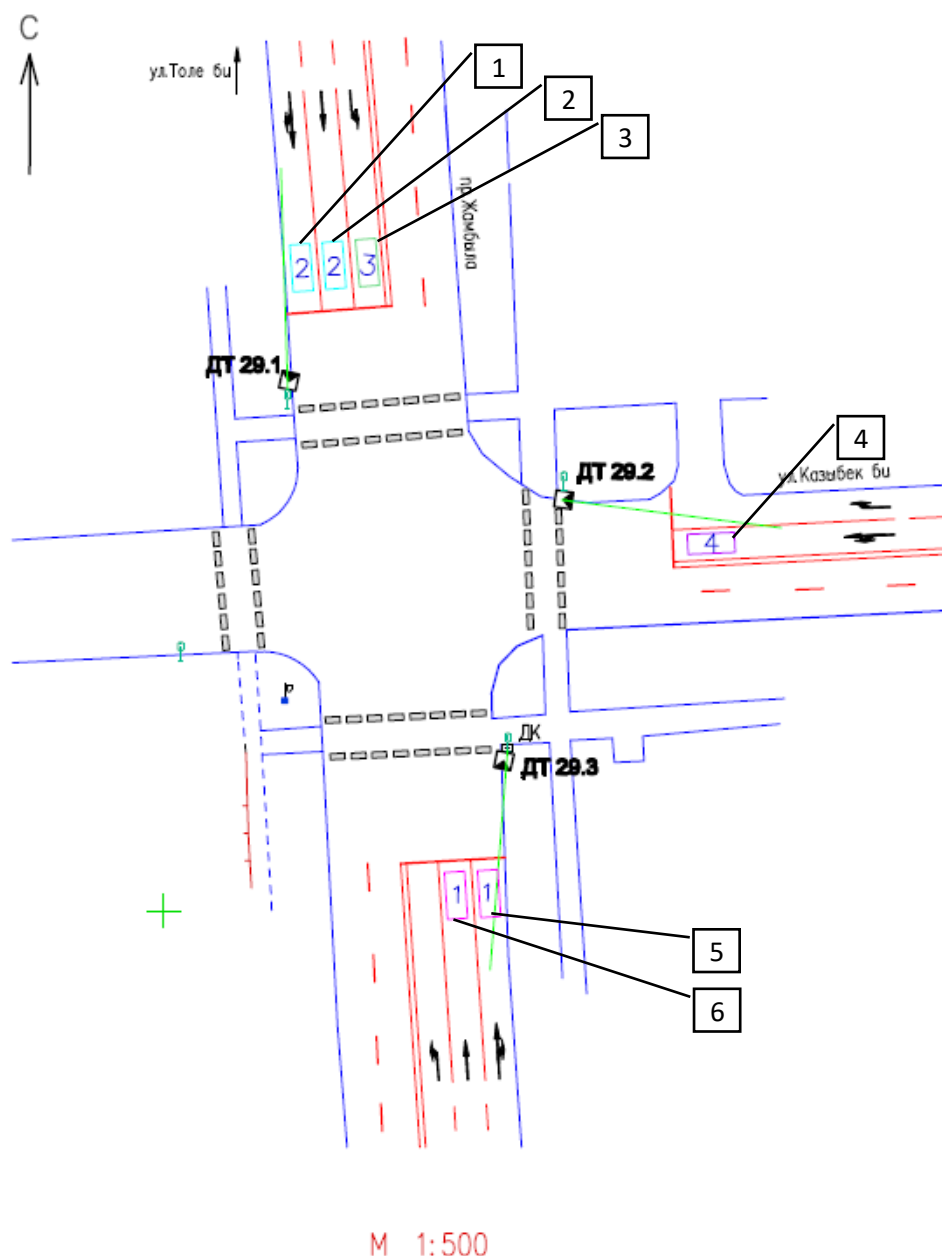
Алгоритм работает по предыдущим данным, **использование табло обратного времени в автономном режиме недопустимо**. Возможен **только управляемый** режим работы табло (например, ТООВ-2 по RS-485), но в моменты координированного управления табло становится бесполезным (будут индцировать прочерки, например, «-:--»). Сбор данных с детекторов и передача телеметрии (число фаз, число проехавших по фазам и расчетные времена фаз) в систему АСУДД-КС продолжается и в координированном управлении. Зная число машин и время фазы система может оценить трафик и его близость к потоку насыщения как в локальном, так и в координированном управлении.

Если блок БОД обнаружит отказ датчика, то фаза, на которую он работает, будет считаться в следующем расчете фазой без датчиков. Это приведет к тому, что она отработает время $T_{\text{основное}}$ по локальному плану. Оптимизация движения будет идти за счет оставшихся фаз с работоспособными датчиками. В следующем цикле светофорного объекта анализ на отказ повторится.

Возможно использование фаз без датчиков движения. В этом случае такая фаза или фазы будут отрабатываться по времени в текущем плане.

Рубеж детектирования находится на стоп-линии. Это позволяет использовать те же датчики для сбора телеметрии для системного адаптивного управления.

Конфигурирование КДУ-3. На плане перекрестка обозначаются зоны детектирования (виртуальные петли). Указывается, на какую фазу работает тот или иной датчик (на рисунке ниже – цифра в цветной рамке). Для удобства датчики нумеруются в пределах перекрестка (линии-выноски с цифрами).



В программе конфигуратора на вкладке адаптивного управления выбирается алгоритм управления. Кнопкой с красным плюсом добавляются фазы движения, указываются их номера. Потом в списке мышкой выделяется фаза и добавляются датчики, работающие на подсчет транспорта во время этой фазы (к слову, их может и не быть, если фаза движения или полоса не настолько важна).

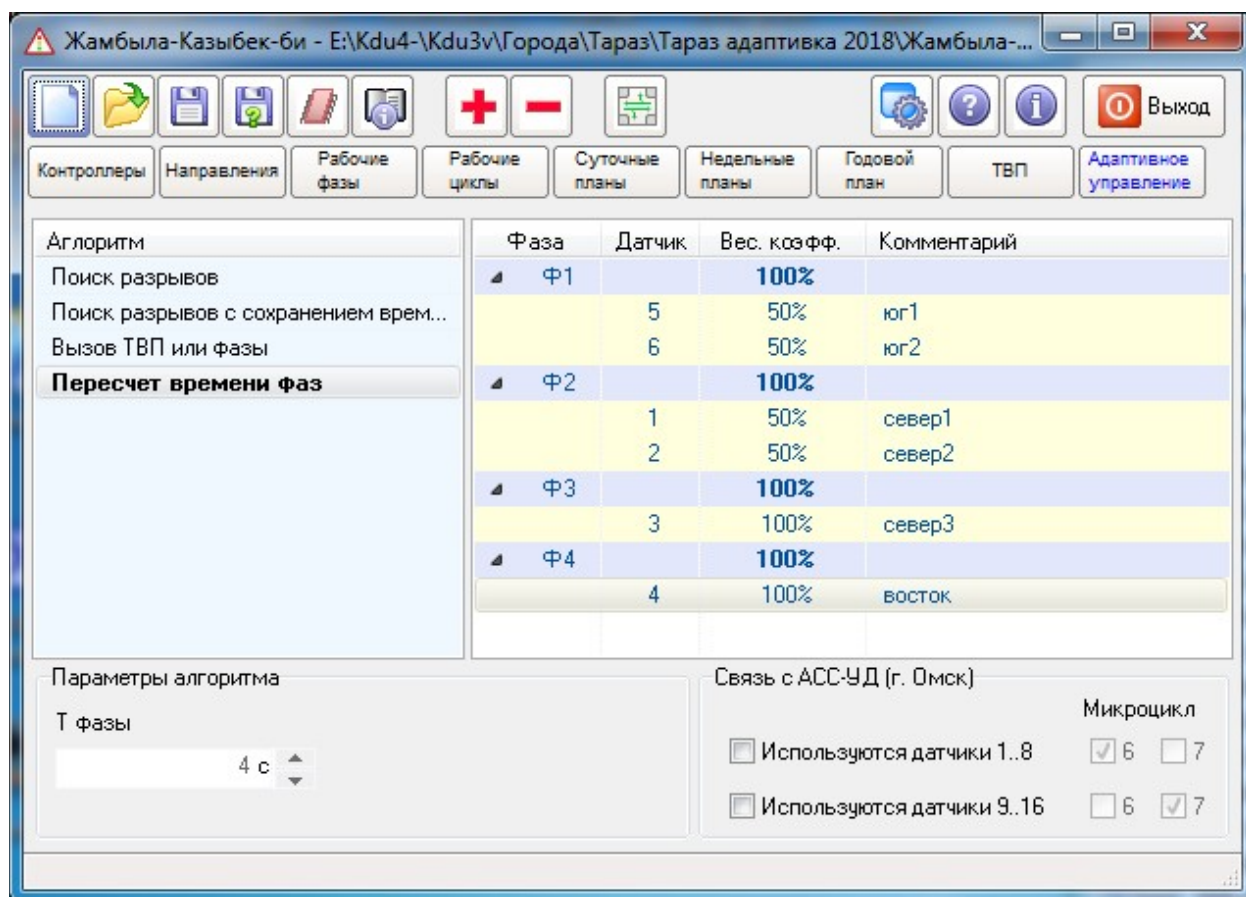
Для каждого датчика указывается весовой коэффициент. Он может принимать значения от 0 до 100%. 0% исключает датчик из числа работающих и применяется как временное решение при отказах техники, проблемах с очисткой полос от снега, и прочих нестандартных ситуациях. Для равнозначного разъезда по данному алгоритму важно, чтобы сумма коэффициентов всех полос на направлении составила 100%. Если это одна полоса, то сразу ставим единственному датчику 100%, если две – то по каждому из двух датчиков 50%, для трех полос – каждому из трех по 33% и так далее. Если мы

хотим, чтобы две из 4-х полос имели приоритет, мы можем для 4-х полос записать такие коэффициенты: 20%, 30%, 30%, 20% - проезд по средним полосам будет увеличивать время фазы в 1,5 раза по сравнению с крайними.

Если требуется поднять приоритет одного направления, то сумма весовых коэффициентов его датчиков может быть больше 100%. Например, 200%. Тогда на двухфазном перекрестке типа «крест» при одинаковой интенсивности движения фаза с таким направлением вместо 50% времени получит 2/3, то есть 66% времени.

Также по каждому датчику пишется комментарий, который позволит Вам быстро понять, что это за датчик. В данном случае указаны стороны света с отсчетом от края проезжей части, что облегчает жизнь технологу системы АСУДД КС.

На рисунке ниже пример заполненной вкладки конфигуратора. Все направления имеют одинаковый приоритет, но по в пределах некоторых направлений расчет идет только по одной или двум полосам.



5. Сокращение времени фазы без сохранения времени цикла

Алгоритм задумывался в качестве отказоустойчивого эквивалента алгоритма 3 (вызов фазы и ТВП).

В рабочий цикл включаются все фазы, даже вызывная. Что гарантирует ее вызов даже при отказе датчиков. Тмин фаз рабочего цикла выбирается также, как в алгоритме 3. Из предположения, что есть вызов дополнительной фазы. Тосновное фаз рабочего цикла выбирается максимально возможным, чтобы уменьшить частоту вызова дополнительной фазы при отсутствии срабатывания детекторов. И не спровоцировать возможную накопившуюся очередь на проезд на красный сигнал, не дожидаясь вызывной фазы.

За срабатывание датчика засчитывается как проезд через зону контроля, так и ее занятость (во время Тмин состояние детекторов игнорируется). Если блок БОД обнаруживает отказ датчика, то отказавший (или неподключенный) датчик считается несработавшим, находящимся в пассивном состоянии. Фаза отрабатывается по Тосновному. Два или более датчиков на вызов фазы работают по ИЛИ.

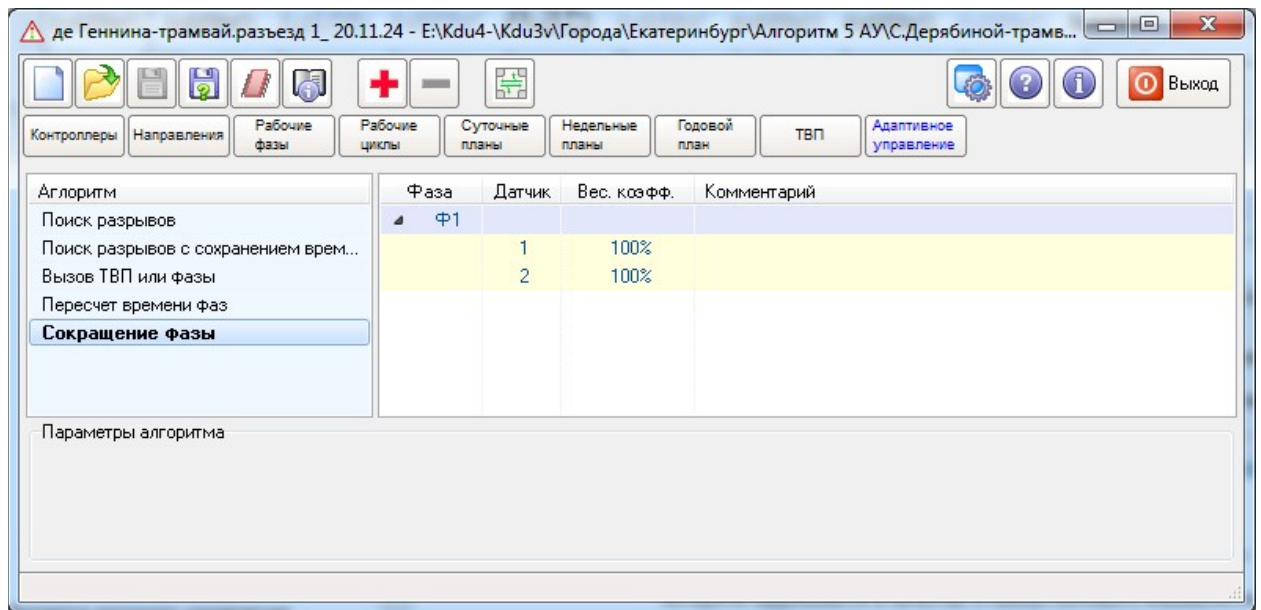
Алгоритм работает по текущим данным, будущее не предсказывает, прошлое не учитывает, поэтому **использование табло обратного времени смысла не имеет**. Сам дорожный контроллер не знает, когда произойдет переключение светофора. Максимум, возможно применение зеленого табло для отсчета времени зеленых сигналов светофоров, работающих в вызывной фазе. Если, конечно, во всех рабочих циклах оно одинаково.

Конфигурирование КДУ. На плане перекрестка обозначаются автомобили и зоны детектирования (виртуальные петли). Указывается, на какую фазу работает тот или иной датчик (на рисунке ниже – цифра в цветной рамке). Для удобства датчики нумеруются в пределах перекрестка (линии-выноски с цифрами).



В программе конфигуратора на вкладке адаптивного управления выбирается алгоритм управления. Кнопкой с красным плюсом добавляются требуемые фазы движения, указываются их номера. Потом в списке мышкой выделяется фаза и добавляются датчики, работающие на сокращение времени этой фазы. Для каждого датчика указывается весовой коэффициент. В данном алгоритме он может принимать два значения – 100% или 0% - работает датчик или нет. Исключение датчика из числа работающих применяется как временное решение при отказах техники, проблемах с очисткой полос от снега, и прочих нестандартных ситуациях. Также по каждому датчику пишется комментарий, который позволит Вам быстро понять, что это за датчик. Один и тот же датчик может использоваться в разных фазах движения, но конфигуратор выделит его номер, чтобы оператор обратил на него внимание.

На рисунке ниже пример заполненной вкладки конфигуратора.



В данном случае оба датчика сокращают время фазы 1.