

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНО-ДРОССЕЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЕМ ПОДЪЕМНО-ОПУСКНЫХ ВОРОТ СУДОХОДНОГО ШЛЮЗА

И.А. Данилушкин, С.А. Колпацников, Е.В. Мельников (СамГТУ),
В.Н. Морозов, И.Л. Краснощеков (ООО «Техтрансстрой»)

Рассматривается автоматическая система управления перемещением подъемно-опускных ворот судоходного шлюза. Описаны принципы функционирования технологической установки, состав программно-аппаратных средств системы автоматизированного управления. Особое внимание уделяется алгоритмическим решениям, реализованным при создании системы автоматической синхронизации перемещения ворот, обеспечивающей движение ворот с минимальным перекосом. Приведены результаты экспериментальных исследований, подтверждающих повышение эффективности управления за счет применения комбинированного частотно-дроссельного метода регулирования.

Ключевые слова: частотный преобразователь, дроссель, подъемно-опускные ворота, судоходный шлюз, камера шлюза, частотно-дроссельное управление, система автоматического управления

Введение

Судоходные шлюзы обеспечивают движение водного транспорта на участке реки, где русло преграждается плотиной для создания перепада уровней. В зависимости от величины перепада, особенностей рельефа и прочих факторов при строительстве судоходных шлюзов применяются различные конструктивные решения, от которых в дальнейшем зависит их эксплуатация. Конструкция камеры шлюза и силовых установок привода ворот определяют методы построения и функционирования систем управления технологическим оборудованием. Широкое распространение частотных преобразователей позволяет осуществить модернизацию принципов управления силовыми установками, которые включают в свой состав электропривод, а применение промышленных контроллеров позволяет реализовывать сложные и эффективные алгоритмы управления.

Объект исследования

Камера судоходного шлюза в г. Балаково со стороны верхнего бьефа оснащена плоскими подъемно-опускными воротами, которые перемещаются с помощью двух независимых гидравлических систем, расположенных по обеим сторонам камеры [1]. Ворота представляют собой плоский затвор

весом в 279 тонн, шириной 31,4 метра и высотой 10 метров.

Наполнение камеры осуществляется потоком воды из под нижнего края ворот. Для этого ворота поднимаются вверх на три метра от положения «Закрото», образуя щель над порогом камеры шлюза. Для пропуска судов ворота опускаются вниз на 6,5 метров ниже положения «Закрото». Подъем ворот осуществляется за счет нагнетания масла в подпоршневую полость гидроподъемника (рис. 1). Опускание ворот происходит за счет слива масла из подпоршневой полости. Таким образом движение вниз осуществляется благодаря собственному весу ворот.

Главной задачей системы управления при перемещении ворот является синхронизация движения сторон ворот: предельно допустимый перекос ворот составляет 60 мм при скорости перемещения ворот около 40 мм/с. Синхронизация может выполняться различными способами. Исторически первый, широко применяемый способ заключается в использовании на каждой стороне ворот дополнительного регулирующего гидродросселя, который в нормальном состоянии закрыт. При подъеме ворот контролируется положение обеих сторон ворот. На опережающей стороне регулирующий гидродроссель открывается и обеспечивает гарантированное снижение скорости подъема. При опускании используется тот же принцип, но дополнительное дросселирование масла осуществляется на отстающей стороне.

Модернизация системы управления

После модернизации системы управления верхними рабочими воротами шлюза электропривод насосов гидросистемы был оснащен преобразователями частоты, что позволяет синхронизировать подъем ворот за счет снижения скорости вращения насосов на опережающей стороне [2, 3]. Принцип синхронизации движения ворот при опускании остается неизменным, однако

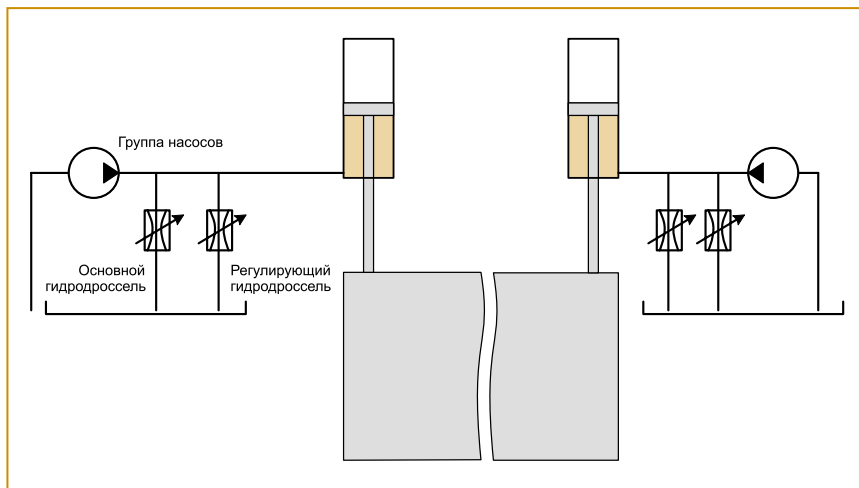


Рис. 1. Функциональная схема системы перемещения подъемно-опускных ворот

для повышения плавности хода и уменьшения гидроударов в качестве регулирующего гидродросселя установлен пропорциональный гидродроссель. Теперь при опускании на отстающей стороне регулирующий гидродроссель открывается пропорционально величине рассогласования, обеспечивая увеличение скорости спуска.

Применение преобразователей частоты позволяет повысить КПД системы, поскольку вместо нагнетания масла с последующим его дросселированием появляется возможность уменьшить производительность насоса. В то же время принципы функционирования преобразователей частоты отрицательно сказываются на ресурсе электродвигателей старого поколения, изначально не предназначенных для эксплуатации совместно с преобразователями [4]. Питающее напряжение несинусоидальной формы и ШИМ-управление на выходе преобразователя частоты приводит к большому числу переключений и, как следствие, к перенапряжениям на обмотках статора и ротора, дополнительному нагреву обмоток, появлению нехарактерных шумов и вибраций. Снижение влияния вредных факторов достигается за счет использования дроссельных фильтров, подключенных между преобразователем частоты и электродвигателем.

С другой стороны, резкое частое изменение управляющего воздействия при обработке помех системой управления также приводит к повышению вибраций и снижению ресурса двигателя и насоса. Большинство преобразователей частоты позволяют ограничить скорость изменения частоты на выходе, однако использование этой настройки ухудшает динамические характеристики системы управления. В [5] предложено использование комбинированного частотно-дроссельного способа управления гидроприводом, при котором управление осуществляется по двум каналам одновременно: с помощью изменения производительности насоса и дросселирования масла из напорной магистрали. При использовании такого подхода важно исключить взаимное влияние каналов управления друг на друга: при неправильном выборе структуры системы регулирования может возникнуть эффект раскачивания, что приведет к повышению пульсаций давления масла в гидросистеме. Развязывание контуров управления выполняется за счет частотного разделения исходного сигнала величины перекаса на две составляющие: низкочастотную — для формирования управления преобразователем частоты и высокочастотную — для управления гидродросселем.

Структурная схема системы управления представлена на рис. 2.

Сигнал $e(t)$ — рассогласование (перекас) между положением перемещаемой стороны ворот $L(t)$ и положением противоположной стороны ворот $L_{np}(t)$ —

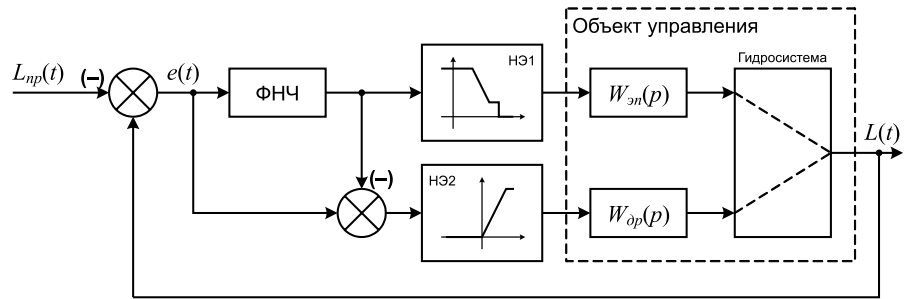


Рис. 2. Структурная схема автоматической системы управления перекосом

поступает на вход фильтра низких частот (ФНЧ). Фильтр выделяет низкочастотную составляющую сигнала и использует ее для формирования управляющего воздействия на электропривод с помощью пропорционального регулятора с нелинейной статической характеристикой НЭ1. При малом рассогласовании, либо при его отрицательном значении электропривод вращается с номинальной скоростью. При возрастании перекаса скорость вращения снижается пропорционально значению перекаса до некоторой нижней скорости вращения. Если перекас продолжает расти, электропривод останавливается до тех пор, пока перекас снова не вернется в зону нижней скорости вращения. Таким образом обеспечивается полный останов перемещаемой стороны в случае большого отставания противоположной и исключается работа электропривода на низких оборотах: с низким КПД и большим тепловыделением.

Разность сигнала рассогласования и низкочастотной его составляющей используется для формирования управляющего воздействия для регулирующего гидродросселя. Такой способ формирования гарантирует отсутствие взаимного влияния каналов управления. Степень открытия регулирующего дросселя определяется с помощью пропорционального регулятора с нелинейной статической характеристикой НЭ2. При отрицательном значении сигнала на входе НЭ2 дроссель полностью закрыт, при положительном — дроссель открывается пропорционально величине сигнала.

На рис. 2 отдельными блоками выделены передаточные функции:

- $W_{эп}(p)$, описывающая динамику преобразователя частоты, электропривода и насоса;
- $W_{др}(p)$, описывающая скорость реакции гидродросселя на изменение уставки.

По результатам экспериментов проведена идентификация параметров передаточных функций. Обе передаточные функции представлены в виде последовательно соединенных апериодического звена и звена чистого запаздывания. Постоянная времени апериодического звена для $W_{эп}(p)$ составляет 290 мс, время запаздывания — 312 мс. Для передаточной функции гидродросселя постоянная времени апериодического звена — 34 мс, время запаздывания — 16 мс. Такие значения подтверждают правильность идеи разделения

управления на два канала: низкочастотный и высокочастотный.

Экспериментальная установка

АСУ, которая используется для проведения эксперимента, имеет следующую структуру:

- перемещением ворот на каждой стороне камеры шлюза управляет свой собственный контроллер Schneider Electric Modicon M340;

- к контроллеру подключены: датчик положения ворот — абсолютный энкодер, позволяющий измерять перемещение с точностью 0,05 мм; датчик положения гидродросселя; датчик положения гидродросселя;

- контроллеры подключены к сети Ethernet;

- к сети контроллеров подключены частотные преобразователи Schneider Electric Altivar 71, обеспечивающие управление скоростью вращения электроприводов насосов.

Все устройства, подключенные к сети, обмениваются данными по протоколу Modbus/TCP. Каждый контроллер запрашивает данные о положении противоположного края ворот, формирует уставку скорости вращения для преобразователя частоты. Оба контроллера реализуют одинаковый алгоритм управления, представленный на рис. 2. Такой подход обеспечивает останов ворот в зоне безопасного перекоса в случае пропадания связи между контроллерами: значение положения противоположной стороны перестает изменяться, а значит, алгоритм принимает решение, что опережение регулируемой стороны стало достаточно большим, чтобы отключить электропривод насоса.

Сбор данных для их последующего анализа осуществляется с помощью компьютера по протоколу Modbus/TCP. Информация фиксируется на одном из контроллеров на каждом цикле исполнения программы. Поскольку обмен по сети не синхронизирован с циклом контроллера, было принято решение сформировать в памяти контроллера буфер из нескольких записей данных с метками времени. При каждом обращении к контроллеру запрашивается весь буфер целиком, а возникающие дублированные записи исключаются при последующем анализе данных. Наличие в буфере повторяющихся записей говорит об отсутствии потерь данных при передаче их на верхний уровень, что и наблюдалось в ходе всех экспериментов. Размер буфера определяется максимальным числом байтов, которые могут быть получены одним запросом по протоколу Modbus/TCP — 252 байта. Каждая запись буфера содержит:

- метку времени по внутреннему таймеру контроллера, мкс, UDINT;

- значение с датчика положения «своей» стороны, разряды абсолютного энкодера, UDINT;

- значение с датчика положения противоположной стороны, разряды абсолютного энкодера, UDINT;

- уставку положения регулирующего гидродросселя, 0,01%, INT;

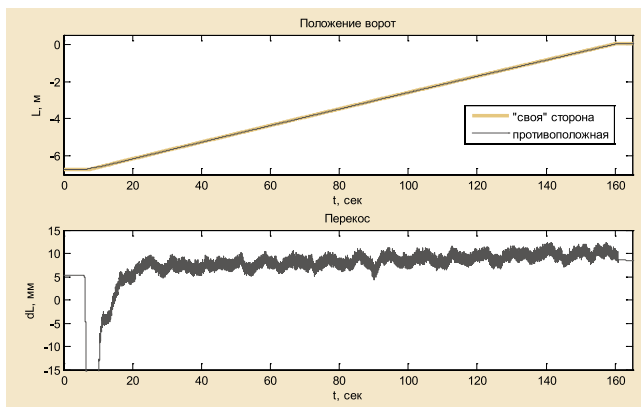


Рис. 3. Изменение положения сторон ворот при подъеме

- текущее положение регулирующего гидродросселя, 0,01%, INT;

- уставку вращения электродвигателя, об/мин, INT;

- текущую скорость вращения электродвигателя, об/мин, INT;

- значение тока электродвигателя, 0,1 А, INT.

Результаты экспериментов

Целью проведения эксперимента является сравнение поведения существующей системы частотного управления перекосом и новой системы, реализующей комбинированный частотно-дроссельный способ управления.

На рис. 3 представлены графики изменения положения сторон ворот при работе штатной системы синхронизации. Электроприводы насосов включаются на открытый разгрузочный клапан, который затем закрывается, что приводит к повышению давления и началу движения ворот. Управление закрытием клапана на каждой стороне происходит независимо от системы синхронизации, поэтому на начальном этапе одна сторона ворот начинает двигаться раньше другой, что приводит к резкому росту перекоса на интервале 6,5...10,3 с. В дальнейшем, когда обе стороны начинают движение, система синхронизации поддерживает перекокс не более заданного.

Система настроена таким образом, чтобы при попадании перекокса в диапазон 0...5 мм никакого

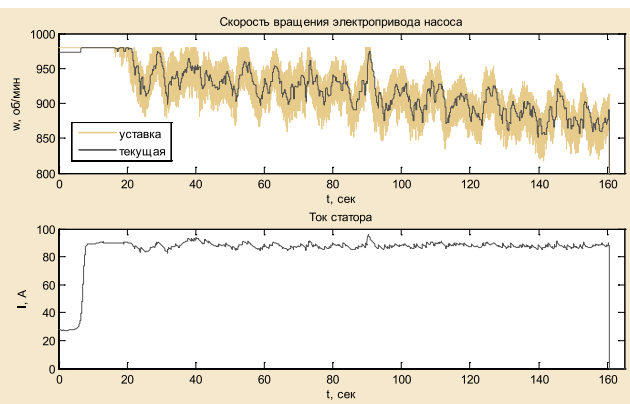


Рис. 4. Изменение скорости вращения электропривода гидросистемы опережающей стороны ворот

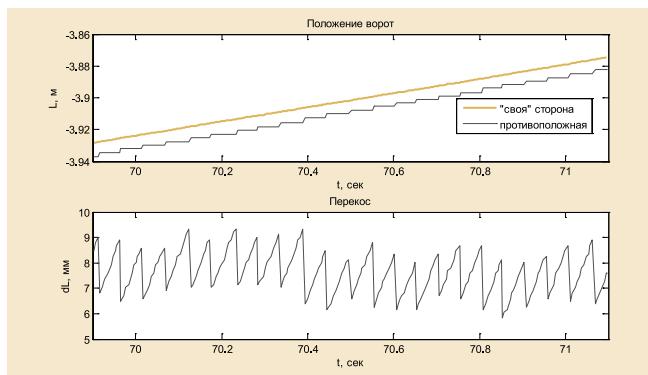


Рис. 5. График изменения положения сторон ворот при подъеме. Фрагмент

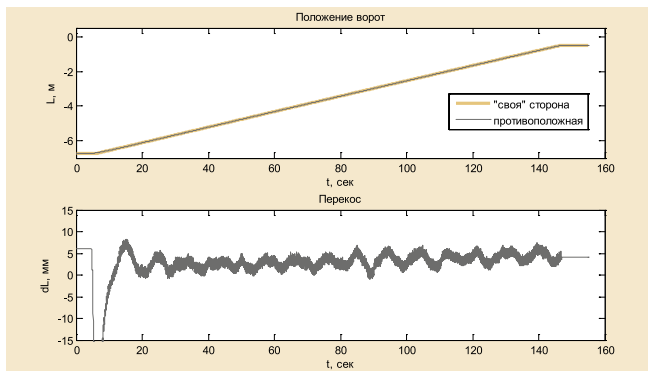


Рис. 6. Изменение положения сторон ворот при подъеме под управлением системы с частотно-дрессельным принципом действия

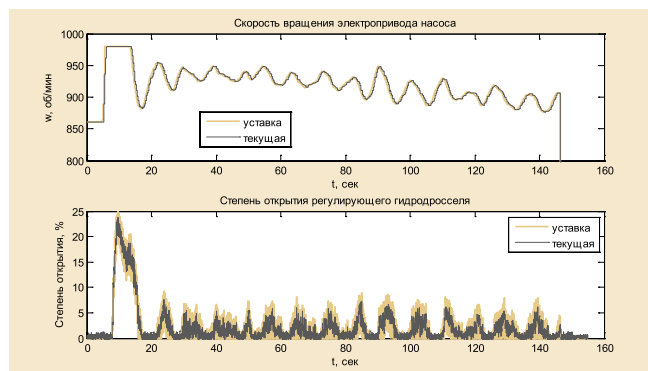


Рис. 7. Управляющие воздействия комбинированной системы управления

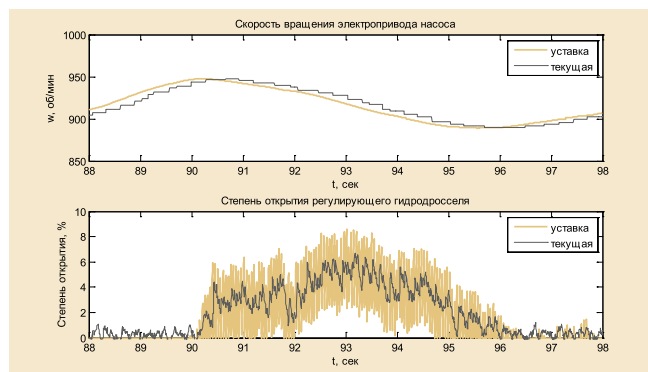


Рис. 8. Регулирующие воздействия комбинированной системы управления. Фрагмент

Призвание есть течение, которому полезно уступить препятствие в его истоке для того, чтобы увидеть, река ли это или только ручеек.
Адриан Декурсель

регулирования не осуществляется. В дальнейшем увеличение перекоса от 5 до 30 мм приводит к снижению скорости вращения насоса с номинальной (980 об/мин) до 40% от номинальной (392 об/мин).

Изменение скорости вращения насоса, а также сила тока обмотки статора электропривода приведены на рис. 4.

На рис. 5 представлен увеличенный фрагмент графика изменения положения сторон. «Пила», наблюдаемая на графике перекоса, обусловлена конструктивными особенностями измерительной системы. Информация о положении противоположной стороны ворот запрашивается по сети, средняя длительность цикла обмена составляет 51,8 мс. При этом средняя длительность цикла контроллера составляет 5,2 мс. Таким образом, контроллер успевае несколько раз пересчитать значение перекоса, прежде чем получит новое положение противоположной стороны. К сожалению, эта же «пила» приводит к постоянному пересчету частоты вращения электропривода, что видно на рис. 4.

С другой стороны, средняя длительность цикла обмена по сети между контроллером и преобразователем частоты составляет 150 мс. Таким образом, смена уставки скорости вращения электропривода в преобразователе частоты происходит один раз за цикл, что и определяет интервал удержания ее на неизменном уровне. В дополнение к этому используется ограничение на скорость изменения частоты на выходе преобразователя (см. изменение текущей скорости электропривода, рис. 4).

На рис. 6 представлены графики изменения положения сторон ворот при подъеме их под управлением автоматической системы с частотно-дрессельным принципом действия. «Пила» в сигнале перекоса, вызванная разностью скоростей обновления информации о положениях сторон, сохранилась. Однако теперь она отнесена к высокочастотной составляющей сигнала и ее влияние на расчет заданной скорости вращения электропривода насоса исключено (рис. 7). При реализации системы управления с частотно-дрессельным принципом управления частота среза фильтра низких частот взята, равной 0,5 Гц. Как и ожидалось, частотный преобразователь «отрабатывает» низкочастотную составляющую сигнала перекоса, а регулирующий гидродроссель — высокочастотную (рис. 8). Колебания сигнала положения регулирующего гидродросселя при значении уставки, равной нулю, объясняется помехой в канале измерения.

Закключение

В результате анализа полученных результатов сделаны следующие выводы.

1) Использование частотно-дрессельного регулирования позволило уменьшить среднее значение величины перекося во время подъема ворот.

2) Частотно-дрессельное регулирование позволило снизить «вредное» влияние преобразователя частоты на электропривод и гидросистему в целом. Так на участке подъема от -6,0 метров до 0,0 метров:

— уменьшился диапазон изменения токов статора. При частотном управлении ток изменяется в диапазоне от 82,5 А до 95,5 А, при частотно-дрессельном регулировании — в диапазоне от 84,6 до 93,6 А;

— уменьшилась скорость изменения силы тока. Максимальное значение при частотном управлении составляет 31,6 А/с, среднее — 3,77 А/с. При частотно-дрессельном управлении максимальное значение составляет 5,66 А/с, среднее — 0,90 А/с.

3) Необходимо учитывать разность скоростей обновления информации при расчете управляющих воздействий. Это позволит снизить уровень высоко-частотной составляющей сигнала управления.

Список литературы

1. Мельников Е.В., Данилушкин И.А., Колпащиков С.А., Морозов В.Н., Краснощеков И.Л. Система управления верх-

ними рабочими воротами судоходного шлюза // Современные технологии автоматизации. №2. 2014. С. 66-71.

2. Мельников Е.В., Данилушкин И.А., Колпащиков С.А., Морозов В.Н., Краснощеков И.Л., Павлович Л.А., Красинский Д.Б. Автоматическая система синхронизации гидроподъемников верхних рабочих ворот судоходного шлюза // Известия Самарского научного центра РАН. Т 16. №1(2). 2014: Самара: СНЦ РАН. 2014. С. 444-448.

3. Данилушкин И.А., Колпащиков С.А., Мельников Е.В. Система автоматического управления подъемно-опускными воротами судоходного шлюза // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки». Вып. №1(41). 2014. Самара: СамГТУ. 2014. С. 185-189.

4. Назипова Л.Р. Недостатки применения частотного управления на типовых асинхронных электродвигателях // Наука, образование, общество: тенденции и перспективы развития. Тр. VI междунар. науч.-практ. конф. Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс». 2017. С. 326-329.

5. Морозов В.Н., Краснощеков И.Л., Павлович И.Л., Красинский Д.Б., Клинов Р.А., Павлович Л.А., Мельников Е.В. Способ регулирования скорости объемного гидропривода с комбинированной частотно-дрессельной системой управления при пуске под нагрузкой // Патент России №2503858. 2014. Бюл. № 1.

Данилушкин Иван Александрович — канд. техн. наук, доцент,

Колпащиков Сергей Александрович — канд. техн. наук, доцент кафедры автоматизации и управления в технических системах,

Мельников Евгений Владиславович — канд. техн. наук, доцент кафедры информационно-измерительной техники Самарского государственного технического университета,

Морозов Виктор Николаевич — канд. техн. наук, генеральный директор,

Краснощеков Игорь Леонидович — канд. техн. наук, главный инженер ООО "Техтранстрой".

Контактный телефон 8 (846)337-07-00.

E-mail: idanilushkin@mail.ru

Враг не пройдет: умное видеонаблюдение в Сахалинской области

На ключевых объектах Сахалинской транспортной инфраструктуры заработала система интеллектуального видеонаблюдения, благодаря которой сотрудники специальных служб смогут обрабатывать террористические угрозы, предупреждать чрезвычайные ситуации и получать дополнительные материалы для расследования преступлений. Проект реализован КРОК в рамках соответствующего госконтракта.

В Южно-Сахалинском аэропорту 12 камер анализируют человеческий поток, проходящий через рубежи контроля, автоматически формируют архив распознанных персон. Решение разработано на основе рекомендаций силовых служб и ведомств, требований законодательных нормативных актов РФ в области безопасности на транспорте. Система позволяет вести картотеку распознанных лиц, искать их во внешних базах изображений или по видеокадру. При обнаружении разыскиваемого человека ответственные сотрудники правоохранительных органов получают уведомления на автоматизированные рабочие места. За год таким образом обрабатывается до 3 млн. лиц - пассажиров, провожающих, сотрудников аэропортов, проходящих через точки контроля.

Система идентифицирует 98% лиц в потоке, что на 15% превышает средние показатели других решений на рынке. Высокая эффективность стала результатом тщательного подбора точек обзора с учетом особенностей архитектуры и требований к освещенности в разные сезоны.

В рамках первой очереди проекта специалисты КРОК развернули программно-аппаратный комплекс видеонаблюдения, установили в аэропорту и ситуационном центре серверное оборудование, а также внедрили средства информационной безопасности на тех же объектах и в управлениях ФСБ и УМВД по Сахалинской области. Все они объединены защищенной сетевой инфраструктурой.

В 2017 г. реализована вторая очередь - дополнительно оснащены аэропорты в г.г. Оха и Шахтерск, Холмский морской торговый порт, железнодорожный вокзал Южно-Сахалинска. Все работы были вписаны в режим объектов, чтобы минимизировать неудобства для пассажиров и не мешать штатной работе служб безопасности.

Речь идет не просто о внедрении дополнительных камер и программного обеспечения, а о единой структуре безопасности, которая объединяет территориально-распределенные объекты. В какой бы части аэропорта не был обнаружен преступник, соответствующие уведомления получают все силовые ведомства.

Основную часть решения составили продукты российских разработчиков: ПО системы видеоидентификации "Визирь" от "Центра Речевых Технологий", криптошлюзы "Инфотекс", антивирусы "Лаборатории Касперского", система защиты от несанкционированного доступа от "Кода Безопасности". Аппаратное обеспечение организовано на базе оборудования Huawei.

[Http://www.croc.ru](http://www.croc.ru)