

Выводы. Разработан способ автоматического дистанционного управления наземной станцией приема информации через Интернет, который позволяет получать в течение суток информацию со спутников дистанционного зондирования Земли без участия человека.

Разработано алгоритмическое обеспечение для автоматического планирования сеансов связи, приема и записи информации со спутников группировки NOAA, позволяющее автоматически управлять несколькими наземными станциями.

По предложенным алгоритмам создан программно-аппаратный комплекс, апробированный на удаленном операторском месте и наземной станции ДНУ, позволяющий принимать круглосуточно снимки со спутников группировки NOAA.

Библиографические ссылки

1. **Баженов В.И.** Моделирование основных характеристик и процессов функционирования космических аппаратов / В.И. Баженов, М.И. Осин, Ю.В. Захаров. – М. : Машиностроение, 1985. – 240 с.
2. **Кашкин В.Б.** Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений / В.Б. Кашкин, А.И. Сухинин. – М. : Логос, 2001. – 264 с.
3. <https://www.space-track.org/>

Надійшла до редколегії 24.05.2016

УДК 629.7.063.6 + 681.518.22

В. Б. Мазуренко

Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара

РЕАЛИЗАЦИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ДОЗИРОВАНИЯ ТОПЛИВНЫХ БАКОВ РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ МОРСКОГО БАЗИРОВАНИЯ

Рассмотрен вопрос практической реализации вычислительных методов обработки сигналов от датчиков уровня заправки ракеты-носителя морского базирования, которые позволяют снизить влияние качания стартовой платформы на величину погрешности дозирования топливных баков.

Ключевые слова: ракета-носитель, система контроля заправки, фильтр Калмана.

Розглянуто питання практичної реалізації обчислювальних методів обробки сигналів від датчиків рівня заправки ракети-носія морського базування, що дозволяють знизити вплив коливання стартової платформи на величину похибки дозування паливних баків.

Ключові слова: ракета-носій, система контролю заправки, фільтр Калмана.

The article is devoted to implementation issue for digital signal processing methods aimed for treatment of signals produced by level sensors of sea based launch vehicle that permit to lower impact of launch platform swing to a propellant tanks loading error.

Keywords: launch vehicle, level monitoring system, Kalman filter.

Введение. Космический ракетный комплекс (КРК) «Морской старт» является первым и до настоящего времени единственным проектом, использующим морские суда для запуска ракет-носителей (РН). В процессе его функционирования выполняется ряд уникальных технологических операций, одной из которых является проведение дозирования топливных баков РН в условиях морской качки. Стартовая платформа (СП), на которую при подготовке к пуску вертикально устанавливается ракета, представляет собой самоходное плавучее сооружение, подверженное качанию вследствие постоянного воздействия морских волн. Во время заправки компонентами ракетного топлива (КРТ) ракета-носитель качается вместе с СП и отклоняется от вертикали на те же углы, что и платформа от горизонтальной плоскости. Соответственно, поверхность жидкого топлива в баках РН периодически отклоняется от номинального, перпендикулярного продольной оси бака, положения. Уровень КРТ в баках РН «Зенит» измеряется датчиками уровня заправки (ДУЗ), и дозирование проводится по их показаниям. Поскольку в отдельных баках РН «Зенит» датчики установлены на значительном расстоянии от продольной оси бака, то колебания зеркала жидкости, возникающие вследствие качания СП, искажают показания ДУЗ. Практика запусков РН «Зенит» КРК «Морской старт» показывает, что наличие описанных выше явлений не приводит к нарушению работы средств дозирования, тем не менее качка СП отрицательно влияет на точность дозирования баков РН.

Она приводит к появлению специфичной составляющей погрешности дозирования (иначе – «погрешности заправки»), характерной исключительно для КРК морского базирования. Основываясь на данных о конструкции РН «Зенит» [1] и углах наклона СП [2] предельные значения этой составляющей для баков горючего могут быть оценены величиной порядка двухсот – трехсот литров.

Негативным последствием является то, что появление дополнительных составляющих и соответствующее увеличение погрешности заправки приводит к необходимости увеличения свободного газового объема в баке [3], а это при соблюдении условия неизменности конструкции РН может быть выполнено только за счет уменьшения дозы заправки. В то же время существует и обратный эффект, что может быть с успехом использовано: располагая средствами уменьшения погрешности заправки, можно уменьшить газовую подушку и, соответственно, увеличить дозу КРТ в баках. Поэтому задача снижения влияния качания стартовой платформы на величину погрешности заправки топливных баков РН морского базирования является актуальной на любом этапе жизненного цикла КРК, ее решение позволяет повысить энергетические характеристики ракеты-носителя.

Методы снижения влияния колебаний поверхности жидкости на процесс измерения уровня. В технике измерения уровня общепринятым способом снижения влияния колебаний поверхности жидкости на погрешность измерения уровня является помещение чувствительных элементов (ЧЭ) датчика в гидроуспокоитель (ГУ), представляющий собой кожух, полностью отделяющий чувствительные элементы от жидкой среды. Жидкость в кожух поступает через демпфер, в качестве демпфера могут применяться трубы или специальные ячейки. Применение гидроуспокоителя позволяет заметно снизить амплитуду колебаний поверхности жидкости в районе расположения ЧЭ, если частота этих колебаний составляет 0,8–1,0 Гц и выше. Такую частоту имеют колебания, развивающиеся на поверхности жидкости внутри бака вследствие ветровых воздействий на корпус РН. В случае же наличия на поверхности жидкости квазистатических колебаний с периодом 10–15 с, который соответствует периоду прихода морской волны, то есть

– періоду качання РН, коефіцієнт успокоєння ГУ знижується на порядок і застосування гідроуспокоєтеля стає неефективним. Тому для зменшення величини погрешності заправки топливних баків РН морського базирования потрібно застосування інших методів. Такі методи були запропоновані, і інформація про них представлена в наступних абзацах.

В роботі [4] для рішення розглядаваної задачі було запропоновано застосувати чисельні методи обробки сигналу від датчика рівня заправки. Зокрема, для зменшення погрешності вимірювань рекомендується проводити фільтрацію сигналу, попередньо перетвореного в цифрову форму, за допомогою дискретного фільтра Калмана (ФК). Це запропоноване рішення дозволяє виключити чисельними методами зменшити величину погрешності, пов'язаної з качанням СП і дискретністю ДУЗ, на 60 відсотків.

В статті [5] запропоновано підхід, оснований на попередньому методі і являючий його розвитком. В разі його реалізації вимірювання рівня КРТ в баках РН можуть стати інваріантними до нахилів СП. Ідея полягає в тому, щоб одночасно з застосуванням фільтра Калмана для оцінки рівня КРТ додатково використовувати показання навігаційних приладів судна, що вимірюють кути крена і диференціал СП. В цій роботі представлено теоретичне обґрунтування можливості застосування запропонованого методу, побудовано конструкцію дискретного фільтра Калмана, на вхід якого надходять вихідні сигнали датчика рівня заправки і показання гіроскопічних приладів (ГП) стартової платформи, визначені параметри фільтра, а також наведені загальні дані про ефективність його застосування.

Наступна стаття ґрунтується на результатах теоретичних досліджень, представлених в роботах [4; 5], і присвячена питанням практичної реалізації запропонованих методів. Зокрема, розглядаються шляхи впровадження рішень, оснований на застосуванні дискретного фільтра Калмана, в проєкт «Морський старт». Також проводиться порівняння одного і іншого методів обробки інформації з точки зору технічної складності реалізації і ефективності застосування.

Способи реалізації запропонованих методів на практиці. Метою впровадження запропонованих чисельних методів обробки інформації від датчиків рівня заправки на основі застосування фільтрації Калмана є підвищення точності дозування баків РН. Механізм практичного застосування цих методів в прикладі до КРК «Морський старт» виглядає наступним чином.

Баки горючого. Заправка баків зазвичай проводиться в певній послідовності. До досягнення рівнем КРТ нижніх рівнів ДУЗ заправка проходить в режимі швидкості. Коли КРТ досягає нижньої межі діапазону вимірювання ДУЗ, формується команда на зменшення витрати палива в бак, після чого заправка ведеться на малій витраті до досягнення потрібного рівня заправки (заданого рівня ДУЗ). В цей момент формується команда на припинення заправки і подача палива в бак припиняється.

В разі впровадження запропонованих методів одночасно з формуванням команди переходу на малий витрат заправки повинен бути запущений чисельний алгоритм фільтра Калмана. На вхід фільтра Калмана повинні надходити дані поточних вимірювань ДУЗ (або ДУЗ і ГП), а на виході фільтра в якості оцінки буде отримано значення висоти рівня КРТ в баку. Отриману оцінку слід безперервно порівнювати з уставкою – заданим рівнем заправки

бака – и по результатам сравнения формировать команду на прекращение заправки. Поскольку используемая для выработки команды оценка ближе к истинному значению высоты уровня КРТ, чем показания ДУЗ, то и точность дозирования бака окажется выше.

Баки окислителя. В качестве окислителя в двигательных установках РН «Зенит» используется жидкий кислород (ЖК), который является криогенной жидкостью, поэтому после завершения заправки баков окислителя малым расходом начинается их подпитка для возмещения потерь компонента из-за испарения. В системах заправки с релейным управлением заправочными клапанами управление процессом подпитки сводится к следующему. Расход подпитки устанавливается на уровне среднестатистической скорости испарения компонента из бака. Реальная скорость испарения несколько отличается от среднестатистической. Поэтому при достижении поверхностью жидкости некоторого заданного уровня ДУЗ (верхняя граница диапазона подпитки) подача компонента в бак прекращается; при падении уровня окислителя ниже определенного, нижележащего, уровня ДУЗ (нижняя граница диапазона подпитки) подача возобновляется. Команды на управление подпиткой формируются по сигналам от ДУЗ. В определенный циклограммой подготовки и пуска момент времени поступает команда на прекращение процесса подпитки. В этот момент уровень кислорода может находиться в пределах нескольких дискретных уровней ДУЗ. Именно это состояние в момент прекращения подпитки (а не состояние в момент окончания заправки малым расходом, как это имеет место для баков горючего) формирует погрешность дозирования бака окислителя. При релейном управлении из-за наличия колебаний поверхности жидкости сигналы о достижении уровней и, соответственно, команды на начало подачи и на прекращение подачи кислорода в бак поступают несколько раньше, то есть всегда реализуется односторонняя погрешность измерения, направленная внутрь диапазона. Поэтому действительный диапазон подпитки оказывается несколько уже, чем заданный. Так как ФК дает более точную оценку с симметричной относительно истинного уровня погрешностью, то введение фильтрации приведет к расширению действительного диапазона, то есть к фактическому ухудшению точности заправки. Поэтому при релейном управлении процессом подпитки введение предлагаемых методов с практической точки зрения следует признать нецелесообразным.

Тем не менее точность дозирования баков окислителя при помощи предлагаемых методов может быть повышена в той же степени, что и точность дозирования баков горючего. Существуют, по меньшей мере, два способа достижения этой цели.

Первый способ состоит в том, чтобы перейти к непрерывному способу управления процессом подпитки. Для этого при помощи фильтра Калмана, использующего информацию об углах наклона СП (как более точным), необходимо вырабатывать оценку высоты уровня КРТ в баке и использовать эту оценку для формирования пропорционального воздействия на управляющие органы клапанов непрерывного действия для регулирования расхода подачи ЖК в бак. К сожалению, этот способ следует рассматривать исключительно с теоретической точки зрения, поскольку переход к непрерывному управлению расходом подпитки потребует проведения значительного объема доработок технологического оборудования и соответствующего объема экспериментальной отработки, что на нынешнем этапе глубокой эксплуатации КРК следует признать практически нереализуемым.

Второй способ не требует доработки заправочного оборудования, но требует некоторого изменения технологии заправки. В этом случае должна производиться первичная заправка бака окислителя до некоторого предварительного уровня. Этот предварительный уровень должен назначаться существенно ниже (на 6–7 дискретных уровней датчика), чем заданный окончательный уровень заправки. Подпитка бака также должна производиться в районе этого предварительного уровня. Затем, непосредственно перед известным моментом времени прекращения подпитки должна быть проведена дозаправка бака малым расходом уже до необходимого, окончательного уровня заправки с применением метода фильтрации, аналогично тому, как это было описано выше применительно к баку горючего. В ходе дозаправки на основе выполняемой ФК оценки должна быть сформирована команда на прекращение заправки, и после ее исполнения поступление ЖК в бак должно быть полностью прекращено. Этим способом может быть реализован любой из двух предлагаемых методов снижения погрешности дозирования.

Внедрение предложенных методов в КРК «Морской старт». Далее перейдем к рассмотрению технических мероприятий, которые следует выполнить для внедрения предлагаемых методов обработки сигналов от ДУЗ в такой проект как «Морской старт», для чего приведем краткие сведения о КРК «Морской старт» в объеме, необходимом для последующего изложения.

В состав КРК «Морской старт» входит два судна: стартовая платформа и сборочно-командное судно (СКС). Ракета стартует с СП, на платформе также проходит весь цикл подготовки к пуску, для чего на СП имеется все необходимое технологическое оборудование. На заключительном этапе предпусковой подготовки персонал на СП отсутствует, и управление комплексом производится с СКС в автоматическом режиме. Управление системами ракетного сегмента КРК «Морской старт» обеспечивает комплекс автоматизированных систем управления подготовкой и пуском (КАСУ ПП) [6]. Информация от датчиков систем, участвующих в технологических операциях, поступает в КАСУ ПП, в КАСУ ПП выполняются алгоритмы обработки информации и законы управления (ЗУ) технологическими операциями. Законы управления привязаны к определенному процессу и системе. Поскольку задача измерения уровня КРТ в баках РН и формирования команд на управление заправкой традиционно выполняется системой контроля заправки (СКЗ) РН [6], то законы управления этими процессами могут рассматриваться как законы управления СКЗ РН.

Для внедрения методов обработки информации на основе фильтров Калмана в законы управления КАСУ ПП должны быть введены соответствующие алгоритмы. Для компьютеризированных систем проведение корректировки (при условии соблюдения жестких требований по отработке – подтверждению корректности проведенных доработок ЗУ) само по себе не представляет особой сложности. Рассмотрим содержание этой корректировки с точки зрения минимизации требований к объемам дополнительно выделяемых ресурсов.

Дискретный фильтр Калмана, который предлагается ввести в ЗУ КАСУ ПП, представляет собой рекуррентный алгоритм [4; 5], который на каждом k -том шаге своей работы выполняет текущую оценку отслеживаемых величин на основе предыдущей оценки этих же величин (полученной на предыдущем шаге $k-1$) и текущих показаний датчиков (полученных на шаге k). Алгоритм выражается в матричном виде и требует выполнения матричных операций сложения и умножения. На каждом шаге должны быть последовательно, одна за другой,

рассчитаны пять матричных формул. Наибольший размер матриц для обоих вариантов фильтра составляет 7×7 .

Данные моделирования по эффективности обоих видов фильтра показывают, что при выбранном шаге дискретизации в одну секунду их работоспособность полностью обеспечивается, и меньший шаг дискретизации не требуется. С другой стороны, системы автоматического управления технологическими процессами, подобные КАСУ ПП, обычно работают с временным тактом на порядок выше – 0,1 секунды. Это обстоятельство может быть использовано для снижения нагрузки на вычислительные ресурсы КАСУ ПП. Вычислительные операции фильтра Калмана можно распределить по нескольким тактам работы КАСУ ПП в пределах одного шага оценивания. Так, например, на каждом такте можно рассчитывать только одну из пяти матричных формул и, если предположить наличие двух каналов измерения и обработки информации (основной и дублирующий), то за десять тактов работы системы будет полностью выполнен один шаг оценивания высоты уровня топлива в одном баке. А учитывая то, что применение фильтра Калмана необходимо только на конечном этапе заправки бака (после перехода на малый расход) и при этом моменты окончания заправки разных баков, как правило, разнесены во времени, то следует ожидать, что внедрение фильтра Калмана для обработки сигналов от датчиков уровня заправки по указанной схеме приведет к минимальному увеличению потребностей в вычислительных ресурсах КАСУ ПП. Можно также добавить, что матрицы седьмого порядка в формулах ФК (за исключением одной из них) – разреженные, доля нулевых элементов составляет 70–80 %. Это позволяет применять соответствующие способы уменьшения объема вычислений и существенно сократить как процессорное время, так и объем оперативной памяти, которые должны быть дополнительно выделены в случае реализации предложенных методов.

Важно отметить, что в данном случае речь идет исключительно об алгоритме фильтра Калмана. Базовые алгоритмы ввода информации от датчиков уровня заправки должны выполняться, то есть считывание показаний датчиков уровня заправки и их первичная обработка должны производиться на каждом такте работы КАСУ ПП. Однако эти показания в прямом виде, до обработки, не должны использоваться для выработки команды на прекращение заправки – для этого предназначена оценка высоты уровня КРТ в баке на выходе ФК. Показания датчиков уровня без их обработки фильтром Калмана должны напрямую использоваться для выработки аварийных команд, команд перехода на малый расход и проведения самодиагностики.

При внедрении ФК с двумя входами, кроме доработок программной части в виде корректировки ЗУ КАСУ ПП, необходимо также провести некоторые доработки материальной части. Для того чтобы обеспечить ввод в КАСУ ПП информации об углах наклона СП, необходимо выполнить сопряжение оборудования КАСУ ПП с навигационным оборудованием стартовой платформы. Очевидно, что сопряжение между двумя информационными системами целесообразно выполнить посредством локальной вычислительной сети. Опыт подобного сопряжения систем ракетного и морского сегментов в КРК «Морской старт» существует. В свое время была разработана система расчета прогнозируемой нагрузки [7]. Данная система работает в течение всего времени подготовки пуска. Функционирование системы предусматривает трансляцию параметров качки от датчиков, измеряющих отклонение платформы от

горизонтального положення [8]. Аналогічну трансляцію необхідно здійснити і для цілей рішення розглядаваної задачі.

Ефективність пропонуємих методів. Далі розглянемо ефективність пропонуємих методів обробки поточних вимірювань, а також фактори, які на неї впливають. Приведені нижче дані отримані на основі виконаного автором моделювання, окремі результати досліджень були представлені раніше [4; 5; 9]. В якості прикладу при моделюванні був вибраний бак горючого другої ступені РН «Зеніт» КРК «Морської старт». Необхідно відзначити, що моделювання проводилося на розрахунковому прикладі, вихідні дані для якого сформовані на основі опублікованої інформації про КРК «Морської старт» і РН «Зеніт», а в випадках відсутності такої інформації – за аналогією з іншими відомими зразками, і є орієнтовними. Основним принципом проведення досліджень було дотримання ідентичності режимів і умов моделювання для різних методів обробки сигналів (включаючи і відсутність обробки). Тому представлені нижче дані в першу чергу слід розглядати з точки зору порівняння пропонуємих методів обробки сигналів на фоні відсутності такої обробки при проведенні дозування баків РН. Точні значення можуть бути отримані шляхом використання представленої в роботах [4; 5; 10] методики при підстановці конкретних вихідних даних, які характеризують конструкцію бака, датчик рівня, а також технологічний процес заправки.

Ефективність. Як показують дані моделювання на розрахунковому прикладі [9], при заданих умовах експлуатації [2] величина випадкової складової погрешності заправки (середньоквадратичне відхилення – СКВ), пов'язаної з качанням СП і дискретністю датчика рівня, може бути зменшена (рис. 1) удвічі з половиною разів при використанні ФК з одним входним сигналом (від ДУЗ) і в чотири з половиною разів в разі використання ФК з двома входними сигналами (від ДУЗ і ГП).

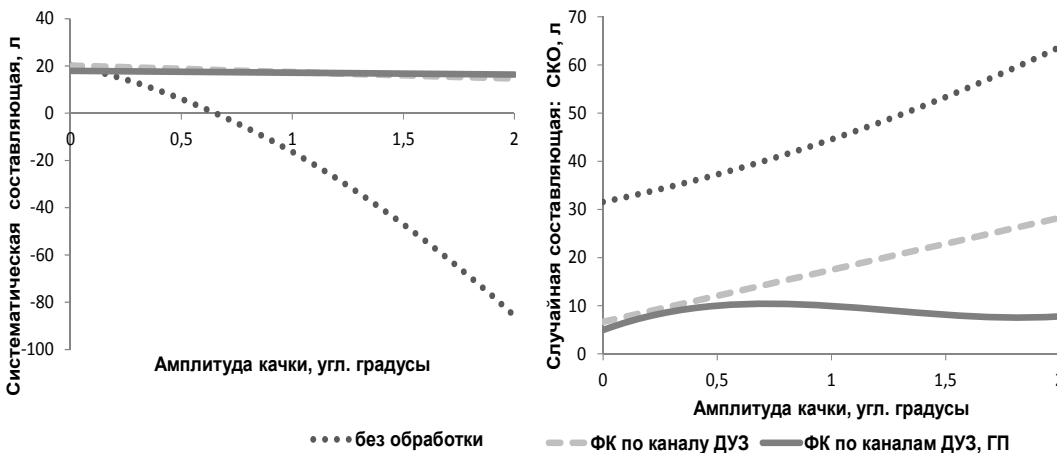


Рис. 1. Залежність складової погрешності дозування, пов'язаної з качанням СП і дискретністю датчика, від амплітуди качки

Вплив параметрів качки на ефективність. В умовах качки ефективність методу з використанням показань навігаційних приборів об кутах нахилу СП помітно вище. Враховуючи те, що погрешність оцінки рівня рідини на виході фільтра за даним методом не залежить від амплітуди качання

СП (рис. 1), то ефективність метода підвищується з ростом величини возмущення. Необхідно також додати, що оцінка, получаемая от ФК с использованием показаний ГП, обладает свойством инвариантности не только по отношению к амплитуде, но и по отношению к преобладающему периоду качки СП. На графиках (рис. 2) в виде аппроксимирующих прямых представлены результаты моделирования, подтверждающие данное положение. Диапазон изменения периодов качки СП охватывает значения от минимальных периодов волн, зафиксированных при наблюдениях [11], до периодов собственных колебаний крупных морских судов [12].

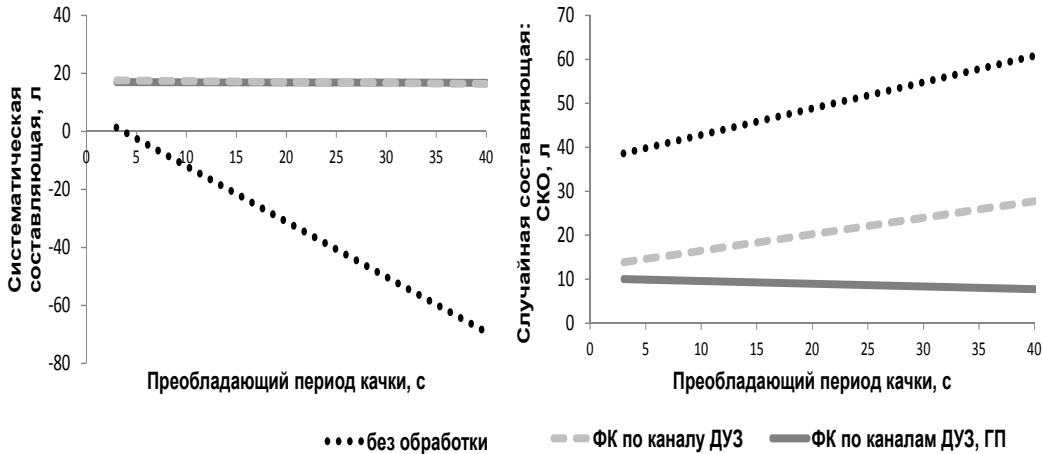


Рис. 2. Зависимость погрешности дозирования, связанной с качанием СП и дискретностью датчика, от периода качки

Эффективность в отсутствие качки. В случае отсутствия качки эффективность обоих предлагаемых методов одинакова. В результате применения этих методов в данных условиях фактически происходит уменьшение погрешности, обусловленной только дискретностью ДУЗ, и эта погрешность уменьшается в пять-шесть раз. То есть для датчика с 20 дискретными уровнями погрешность из-за его дискретности составит менее 1,5 %. Это позволит при проведении заправки практически уравнивать точность дискретного и непрерывного датчиков уровня. Известно [13], что для измерения уровня топлива в баках РН, в основном, используются датчики двух типов: емкостные и поплавковые с индуктивной связью поплавок с измерительной схемой. Емкостные ДУЗ обычно непрерывные, а поплавковые с индуктивной связью – только дискретные, их минимальная дискретность составляет 10–12 мм. Таким образом, используя фильтр Калмана для обработки выходного сигнала датчика, можно практически устранить основной недостаток поплавкового индуктивного датчика уровня, состоящий в его дискретности. Учитывая то, что этот тип датчиков обладает рядом преимуществ по сравнению с датчиками емкостного типа, применение предложенных методов обработки информации существенно расширяет возможности применения поплавковых датчиков уровня с индуктивной связью поплавок с измерительной схемой.

Влияние демпфирования на эффективность. Как уже отмечалось выше, в случае проведения измерений уровня жидкости, поверхность которой подвержена колебаниям, датчики оснащаются гидроуспокоителями. Гидроуспокоитель, по

существу, представляет собой фильтр низких частот. Автором проведено моделирование в целях определения взаимосвязи параметров гидроуспокоителя датчика, представляемого апериодическим звеном первого порядка, и эффективностью предлагаемых вычислительных методов обработки сигналов. Результаты моделирования, аппроксимированные соответствующими прямыми линиями и экспонентой, представлены на графиках (рис. 3).

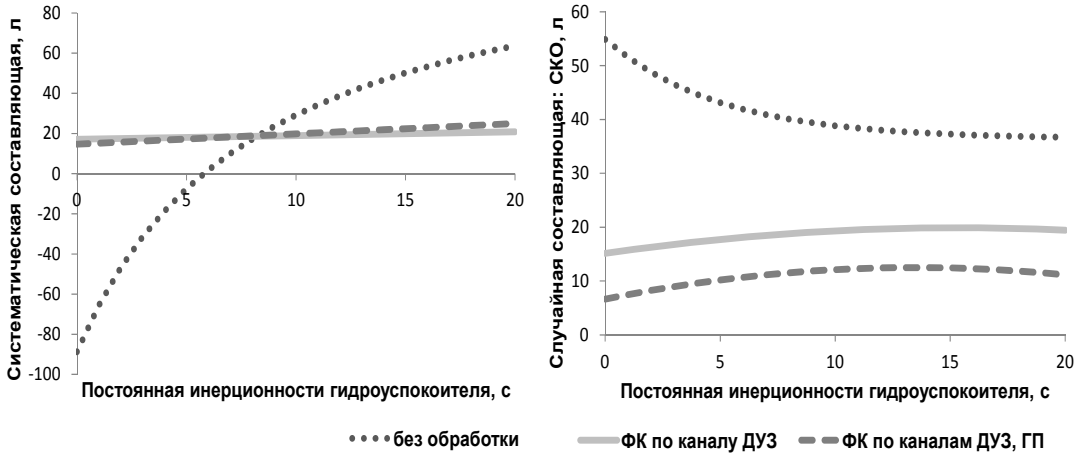


Рис. 3. Зависимость погрешности дозирования, связанной с качанием СП и дискретностью датчика, от постоянной инерционности ГУ

Как следует из графиков, в случае применения вычислительных методов обработки сигналов от датчика наличие гидроуспокоителя для устранения влияния качки не требуется. Более того, использование в конструкции датчика ГУ с большой постоянной времени приводит к снижению эффективности предлагаемых методов.

Выбор метода. Окончательный выбор того или иного способа усовершенствования любой системы проводится в сравнении эффективности нововведений и объема затрат на внедрение. Это положение справедливо и в отношении выбора одного из двух представленных выше методов. Показатели эффективности предложенных методов в своих точных значениях определяются путем использования методики моделирования, представленной в настоящей статье и в упомянутых ранее работах, при подстановке конкретных исходных данных. Однако экономические аспекты внедрения выходят за рамки проведенных исследований. Тем не менее общие рекомендации по выбору метода, основанные на сравнительном техническом анализе, могут быть представлены, и они сводятся к следующему. В КРК «Морской старт» амплитуда наклонов СП ограничена значением в один градус. В случае расширения пределов эксплуатации или построения новых КРК морского базирования с более широким диапазоном углов наклона платформы метод с использованием информации от ГП становится более предпочтительным, поскольку обладает существенным преимуществом по эффективности. Этот же метод должен быть реализован также в том случае, если в момент окончания дозирования имеются статические углы наклона СП, поскольку он формирует оценку уровня КРТ в баках, инвариантную к наклонам СП. Метод, основанный на использовании фильтра Калмана с одним входом, целесообразно

применять в случае проведения измерений датчиком уровня дискретного типа при малых углах наклона (до 0,5 градуса) или при их полном отсутствии. Внедрение этого метода позволит заметно снизить составляющую случайной погрешности дозирования, связанную с дискретностью датчика.

Выводы. Результатом выполненных исследовательских работ, основные положения которых представлены в настоящей статье, является следующее:

Рассмотрены вопросы практической реализации вычислительных методов обработки сигналов от датчиков уровня заправки ракеты-носителя морского базирования, которые позволяют снизить влияние качания стартовой платформы на величину погрешности дозирования топливных баков. Представлен механизм практического применения указанных методов в приложении к КРК «Морской старт», а также предложены конкретные технические мероприятия, которые следует выполнить для внедрения предлагаемых методов.

Представлены сравнительная оценка эффективности предлагаемых методов обработки сигналов и результаты исследования влияния отдельных факторов на величину эффективности. Выработаны общие рекомендации по выбору одного из предложенных методов обработки сигналов для внедрения.

Библиографические ссылки

1. Ракеты и космические аппараты конструкторского бюро «Южное» / под общей ред. С. Н. Конохова – Днепропетровск : ГКБ «Южное» им. М.К. Янгеля, 2001. – 240 с.
2. Sea Launch Company, LLC. User's Guide, Revision C. 2003. D688-10009-1.
3. **Мазуренко В.Б.** Повышение энергетических характеристик ракет-носителей методом модификации критерия полноты использования объема топливных баков // Вісник Дніпропетровського університету. Серія "Ракетно-космічна техніка". – 2013. – Вип. 16. – С. 61–68.
4. **Мазуренко В.Б.** Применение дискретного фильтра Калмана для решения задачи измерения уровня жидкого топлива в условиях качки // Системні технології: регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Дніпропетровськ, 2014. – Вип. 6 (95). – С. 95–106.
5. **Мазуренко В.Б.** Использование информации об углах наклона платформы при обработке дискретным фильтром Калмана данных измерений уровня жидкого топлива // Системні технології: регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Дніпропетровськ, 2015. – Вип. 3 (98). – С. 85–96.
6. Технологические объекты наземной инфраструктуры ракетно-космической техники : инженерное пособие : в 2 кн. / под общей ред. И. В. Бармина. – М. : Полиграфикс РПК, 2006. – Кн. 1. – 416 с.
7. **Дегтярев А. В.** Определение нагрузок в опорном сечении РН при стоянке на пусковом столе морской стартовой платформы в условиях действия ветра и качки / А.В. Дегтярев, А.А. Василенко // Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки. – Дніпропетровськ : Дніпропетровський нац. ун-т ім. Олеся Гончара, 2011. – Т. XI. – С. 16–28.
8. **Дегтярев А. В.** О критерии на разрешение пуска ракеты-носителя с морской платформы / А. В. Дегтярев, А. Э. Кашанов, И. А. Василенко // Вісник НУК імені адмірала Макарова. – Миколаїв : Нац. ун-т кораблебудування імені адмірала Макарова, 2012. – № 2. – С. 36–40.
9. **Мазуренко В.Б.** Эффективность применения информационно-измерительной технологии на основе дискретного фильтра Калмана в процессе дозирования баков качающейся ракеты // Системні технології: регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Дніпропетровськ, 2016. – Вип. 2 (103). – С. 79–86.

10. Мазуренко В.Б. Модель процесса измерения уровня жидкого топлива в условиях качки // Системні технології: регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Дніпропетровськ, 2014. – Вип. 5 (94). – С. 25–36.
11. View Climatic Summary Plots : Station 51028 - Christmas Island [Электронный ресурс] // National Data Buoy Center, – Режим доступа: http://www.ndbc.noaa.gov/view_climplot.php?station=51028&meas=wp
12. Максимаджи А.И. Капитану о прочности корпуса судна : справочник / А. И. Максимаджи. – Л. : Судостроение, 1988. – 223 с.
13. Мазуренко В.Б. Обзор применяемых методов измерения уровня жидкого топлива в баках нижних ступеней ракет-носителей // Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки. – Дніпропетровськ.: Дніпропетровський національний університет ім. Олеса Гончара, 2013. – Т. XVI. – С. 82–95.

Надійшла до редколегії 04.04.2016

УДК 519.246.3

В. П. Малайчук¹, А. М. Потапов², И. А. Гусарова², И. И. Деревянко¹

¹Днепропетровский национальный университет имени Олеса Гончара

²Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» имени М. К. Янгеля»

ФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ РАБОТОСПОСОБНОСТИ КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ СТАЦИОНАРНОСТИ И НЕЗАВИСИМОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ЛИНЕЙНО-ПРОТЯЖЕННЫХ ОБЪЕКТОВ КОНТРОЛЯ

Рассмотрены основы теории оценки стационарности и независимости измерений выборки нормальных случайных величин. Исследована возможность их применения для выборки случайных величин с разными законами распределения вероятностей, значениями автокорреляции и ограничениями на объем измерений. При факторном анализе оценены условия работоспособности исследуемых критериев.

Ключевые слова: стационарность, независимость, модель измерений, разность выборки, среднее значение, разброс.

Розглянуто основи теорії оцінки стаціонарності і незалежності вимірювань вибірок нормальних випадкових величин. Досліджено можливість їх застосування для вибірок випадкових величин з різними законами розподілу ймовірностей, значеннями автокореляції і обмеженнями на обсяг вимірювань. При факторному аналізі оцінено умови працездатності досліджуваних критеріїв.

Ключові слова: стаціонарність, незалежність, модель вимірювань, різниця вибірки, середнє значення, розкид.

The bases of evaluation theory and stationary measurements independent samples of normal random variables. The possibility of their use for the sampling of random variables with different probabilities distribution laws, the autocorrelation values and restrictions on the volume measurement. When factor analysis assessed the conditions of the test criteria of efficiency.

Keywords: stationary, independent, measurement model, the difference between the sample, the mean value, scatter.