

**Машин В.А.**

**Boeing: два пути — две культуры безопасности. Часть 3.**

Машин Владимир Анатольевич - Старший научный сотрудник Обнинского научно-исследовательского центра «Прогноз». Кандидат психологических наук.

E-mail: [mashin-va@mail.ru](mailto:mashin-va@mail.ru)

Расследование катастрофы Boeing 737 MAX 8 индонезийской авиакомпании Lion Air, вылетевшего 29 октября 2018 года из аэропорта Джакарты рейсом JT610, показало (отчёт по результатам расследования был опубликован в октябре 2019 года [1]), что в действия пилотов, пытавшихся поднять нос самолёта, вмешалась автоматизированная «Система улучшения характеристик маневрирования» (MCAS), формирующая управляющие команды при высоких углах атаки для перекаладки горизонтального стабилизатора. Система была разработана как решение проблемы с изменением аэродинамики самолёта после установки больших по размеру и весу двигателей, вызвавшее задирание носа при увеличении тяги двигателей в процессе взлёта, что могло приводить к потере скорости и режиму сваливания самолёта.



Принцип работы системы MCAS на 737 MAX

MCAS получала данные от одного из двух датчиков угла атаки (ДУА), расположенных по бортам носовой части фюзеляжа. При превышении показаний ДУА выше установленных значений, MCAS на 10 секунд включала электродвигатель для перекаладки горизонтального стабилизатора, опуская нос самолёта на  $2,5^\circ$ . У рейса JT610 подключённый к MCAS датчик с левого борта давал ложные показания и по превышению допустимого угла атаки система начала подавать управляющие команды электроприводу стабилизатора в автоматическом режиме с промежутками 5 секунд, переводя самолёт в режим сваливания. Пилоты пытались поднять нос самолёта, используя кнопки управления электроприводом стабилизатора на штурвале, но управляющие команды MCAS на электропривод имели приоритет над действиями пилотов [2].



Кнопки управления электроприводом стабилизатора на штурвале

В ходе расследования было установлено, что в материалах подготовки пилотов 737 MAX отсутствовала информация по MCAS, как и в Руководстве по производству полётов на 737 MAX (данная система упоминалась лишь в списке аббревиатур). Поэтому пилоты рейса JT610 не могли знать о принципах работы MCAS и как следует действовать в подобных ситуациях. Кроме этого, сигнал оповещения о рассогласовании показаний двух ДУА корпорация предлагала дополнительно (опционально). Авиакомпания Lion Air приобрела свои самолёты 737 MAX без данного оповещения [1, 2].

Расследование выяснило, что буквально за день до катастрофы механик установил с левой стороны потерпевшего аварию самолёта отремонтированный ДУА. В этот день самолёт с другим экипажем должен был совершить внутренний рейс в Джакарту и во время его полёта возникла ситуация, аналогичная с рейсом JT610. По счастливой случайности в кабине находился третий пилот авиакомпании, которому нужно было быть в Джакарте. Он заметил произвольную работу электропривода стабилизатора и дал совет пилотам отключить его (тем самым система MCAS была деактивирована) и для вывода самолёта из пикирования перейти к переключке стабилизатора с помощью вращения барабана, предназначенного для ручного управления стабилизатором через тросовую проводку [1, 2].



Барaban для ручного управления стабилизатором

После приземления в Джакарте командир внёс в журнал технического обслуживания самолёта записи о предупреждениях, которые были получены во время полёта. Однако он не сообщил об отключении экипажем электропривода стабилизатора для устранения неожиданной перекачки стабилизатора с опусканием носа самолёта, и на следующий день самолёт с дефектным ДУА совершит свой последний полёт, унеся с собой 189 человеческих жизней [1, 2].

Ситуация, возникшая при полёте в Джакарту 28 октября 2018 года, представляет собой яркий пример предвестника значимого события (ПЗС), избежать которого удалось только благодаря точным указаниям третьего пилота, случайно оказавшегося в кабине самолёта. Данное происшествие служит очередным доказательством важности внедрения эффективных программ сообщений о ПЗС, когда важная для безопасности информация своевременно доводится и по результатам анализа принимаются требуемые меры [3]. Если бы экипаж рейса JT610, летевший 29 октября 2018 года, располагал необходимой информацией, это помогло бы ему оперативно выявить проблему на фоне стресса и какофонии сбивающих с толку сигналов оповещений и отклонений в показаниях приборов в кабине пилотов, а также правильно отреагировать на неё. Кроме этого, была упущена возможность до полёта выявить и устранить неисправность ДУА по левому борту техническим персоналом авиакомпании.



Boeing 737 MAX 8 авиакомпании Lion Air, рейс JT610

Реакция Boeing на трагедию рейса JT610 показательна и отражает те изменения в её культуре, которые произошли после слияния с McDonnell Douglas. Корпорация не спешила понять и признать, насколько опасными для лётного состава и безопасности пассажиров были проектные решения, связанные с системой MCAS и предоставленные ей эксплуатационные полномочия [2]. Корпорация выдвинула несколько обвинений против авиакомпании Lion Air в плохом техническом обслуживании, в наборе и быстром продвижении неопытных пилотов, которые оказались неспособными справиться с возникшей ситуацией, сделав их, по сути, виновными в катастрофе. Последующее расследование опровергло предположение о неопытности пилотов. Было установлено, что командир рейса JT610 налетал более 5100 часов, а второй пилот – свыше 4200 часов на Boeing 737, что квалифицировало их как опытных пилотов [1, 2].



Схема полёта рейса JT610 29.10.2018 (Flightradar24)



6 ноября 2018 года Boeing выпустила Бюллетень по лётной эксплуатации ТВС-19, а на следующий день FAA направило владельцам и эксплуатантам самолётов 737 MAX Срочную директиву лётной годности AD 2018-23-51, требующая в течение 30 дней обеспечить лётные экипажи процедурой (описанной в ТВС-19) по управлению самолётом с помощью стабилизатора при получении системой управления полётом ошибочного сигнала о высоком значении угла атаки с одного из датчиков, с последующей неконтролируемой переключкой стабилизатора в крайнее положение и переводом самолёта в режим сваливания. Ни Boeing, ни FAA не предупредили пилотов 737 MAX о существовании MCAS; не объяснили, как система использует входные данные от ДУА; не обязали провести обучение по своевременному выявлению проблем, связанных с неправильным функционированием MCAS. FAA в последний момент убрало даже ссылку на MCAS из своего проекта Срочной директивы лётной годности [2].



Оptionальный индикатор угла атаки на основном пилотажном дисплее 737 MAX

Важная для диагностики ситуации индикация о рассогласовании показаний датчиков угла атаки упоминалась в этих документах как «дополнительная» (при условии, что опция приобретена). Согласно Boeing, отсутствие оповещения о рассогласовании показаний датчиков угла атаки на основных пилотажных дисплеях (PFD) 737 MAX не влияло на безопасность полётов. В декабре 2018 года это ещё раз было подтверждено Советом по вопросам безопасности корпорации Boeing [2]. Никаких принципиальных изменений в программное обеспечение MCAS не было внесено. В этот период позиция Boeing и FAA заключалась в том, что, если имелись недостатки технического проекта 737 MAX (например, нарушение принципа единичного отказа для системы MCAS при неисправности

одного ДУА), пилоты должны были их компенсировать, выполняя функцию резервирования.

10 ноября 2018 года, после многочисленных запросов авиакомпаний, Boeing публикует Сообщение эксплуатантам воздушных судов MOM-MOM-18-0655-01B [1], в котором сжато, в двух абзацах впервые знакомит пилотов 737 MAX с MCAS: назначение системы для продольной балансировки самолёта в автоматическом режиме по данным одного ДУА; условия активации системы по превышению угла атаки в режиме ручного управления и при убранных закрылках; скорость и величина перекладки стабилизатора; условия многократной активации.

3 декабря 2018 года FAA подготовило количественную оценку рисков в отношении парка самолётов 737 MAX при продолжении их эксплуатации. Анализ был основан на предположении, что только один из 100 пилотов не смог бы должным образом отреагировать на ошибочную многократную активацию MCAS. Результаты анализа рисков показали, что без исправления системы MCAS в течение предполагаемого 30-летнего срока службы парка 737 MAX (4800 самолётов), может произойти более 15 авиакатастроф с гибелью свыше 2900 человек. Статистически это означало, что каждые два года в течение последующих 30 лет будет происходить одна катастрофа 737 MAX с гибелью всех, кто находится на борту. Несмотря на анализ рисков, FAA разрешило 737 MAX продолжить полёты, ожидая, что Boeing устранит недостатки в системе MCAS к июлю 2019 года [2].

После катастрофы в Индонезии представители Boeing в своих выступлениях постоянно подчёркивали приверженность корпорации безопасности при проектировании и производстве 737 MAX. Специально было опубликовано заявление для пилотов и пассажиров, в котором была выражена уверенность в том, что «737 MAX так же безопасен, как и любой другой самолёт, когда-либо летавший в небе». Переложив всю вину за катастрофу на пилотов и авиакомпанию Lion Air, 17 декабря 2018 года, когда с момента трагедии прошло менее двух месяцев, совет директоров Boeing утвердил 20-процентное увеличение дивидендов Boeing с 1 марта 2019 года, а также одобрил новую программу обратного выкупа акций на сумму 20 млрд долларов.

Прошло немного более 4 месяцев после гибели рейса JT610, когда произошла катастрофа с рейсом ET302 авиакомпании Ethiopian Airlines. 10 марта 2019 года 737 MAX 8 вылетел в 08:38 из столицы Эфиопии Аддис-Абеба рейсом ET302. Через минуту после взлёта командир сообщил о проблемах в управлении: нос самолёта внезапно стал опускаться. Через шесть минут самолёт рухнул на землю, образовав большой кратер глубиной 9 метров. Все 157 человек на его борту погибли [4]. Катастрофа в Эфиопии

произошла через девять дней после того, как акции Boeing достигли своего исторического максимума в 440 долларов (на момент слияния в 1997 году акции стоили 33 доллара).

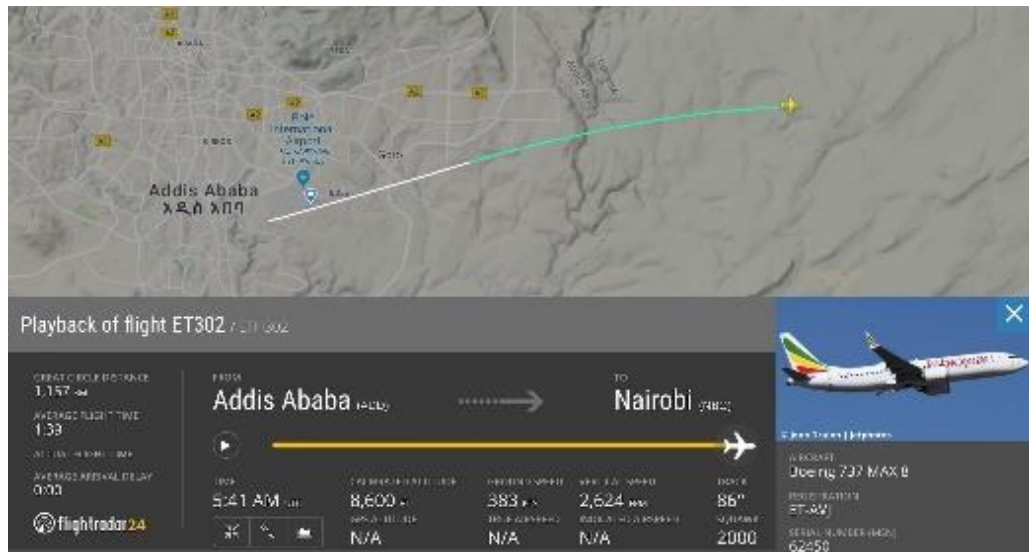


Схема полёта рейса ET302 10.03.2019 (Flightradar24)

Согласно данным расследования, у 737 MAX рейса ET302 не было известных технических неполадок, но после взлёта левый ДУА стал выдавать ошибочные показания, и система MCAS взяла управление продольной балансировкой самолёта на себя, четыре раза активировав электропривод стабилизатора, опуская нос самолёта [4]. Когда пилоты наконец отключили электропривод стабилизатора, деактивировав MCAS, их усилий оказалось недостаточным для вращения барабана ручного управления стабилизатором в режиме сваливания 80-тонного самолёта [2]. За короткий период две авиакатастрофы новейшего Boeing 737 MAX унесли 346 жизней.



Катастрофа рейса ET302 737 MAX 8 в Эфиопии

Уже на следующий день после катастрофы Boeing опубликовала заявление, в котором подчеркнула, что 737 MAX – это безопасный самолёт, спроектированный и построенный квалифицированными сотрудниками, относящимися максимально добросовестно к своей работе [5]. Как и в случае с рейсом JT610 Lion Air, Boeing обвинила авиакомпанию Ethiopian Airlines (одну из лучших в Африке) в плохом техническом обслуживании, в слабой подготовке и недостаточной квалификации пилотов рейса ET302, игнорируя, как будет установлено позднее, серьёзные ошибки, допущенные при проектировании и сертификации системы MCAS для 737 MAX [2]. 29 апреля 2019 года на ежегодном собрании акционеров генеральный директор Boeing Д. Меленберг напрямую обвинил погибших пилотов, заявив, что «процедуры не были полностью соблюдены».



Деннис Меленберг

13 марта 2019 года FAA вынуждено было приостановить полёты 737 MAX вслед за регуляторами Китая, Евросоюза и Канады (всего к этому моменту Boeing поставил 387 самолётов данного типа почти 50-ти авиаперевозчикам, которые использовали 737 MAX для 8600 рейсов в неделю). 29 января 2020 года Boeing опубликовала отчёт и впервые в новом тысячелетии объявила об отрицательной операционной прибыли (убытках) в 2019 году в размере 1,98 млрд долларов (2018 год корпорация закончила с операционной прибылью в размере 11,99 млрд долларов). Портфель невыполненных заказов, включая более 5,4 тыс. пассажирских самолётов, составил 463 млрд долларов. В январе 2020 года корпорация в первые с 1962 года не получила ни одного нового заказа на самолёты. Её конкурент, корпорация Airbus, напротив, сообщила о самом большом объёме новых заказов за 15 лет: 274 самолёта. Общий долг Boeing в 2019 году удвоился, составив 28,5 млрд долларов и продолжил стремительно расти, достигнув своего максимума в 2020 году – 64,9



млрд долларов. С 2019 года корпорация Boeing фиксирует в своей финансовой отчётности операционные убытки, отрицательные значения собственного капитала (долги превысили активы) и почти четырёхкратный рост общего долга (см. рисунок 2).

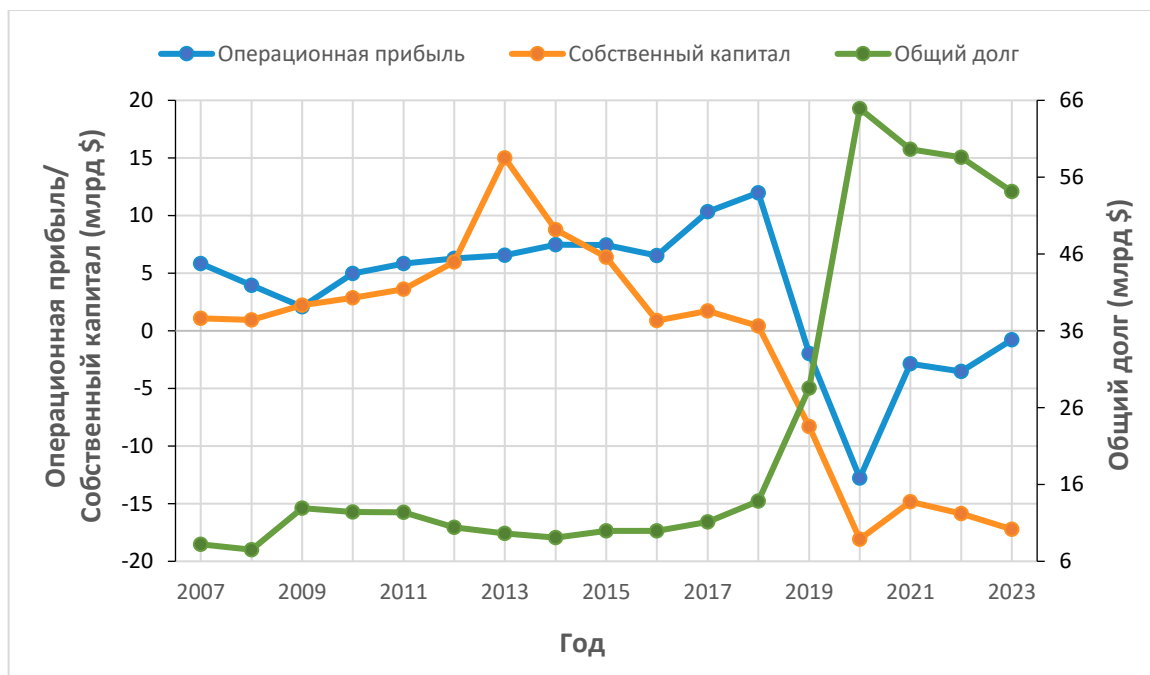


Рисунок 2. Динамика операционной прибыли, собственного капитала и общего долга корпорации Boeing (The Boeing Company Annual Reports)

В конце декабря 2019 года был уволен очередной генеральный директор Boeing Д. Меленберг, менее через год после того, как ведущий профильный журнал Aviation Week назвал его «Человеком года – 2018». Его пост занял Дэвид Кэлхун, имевший степень бакалавра в области бухгалтерского учёта и проработавший 26 лет в GE.



Дэвид Кэлхун

Лишь через 20 месяцев 18 ноября 2020 года 737 MAX сможет вернуться в эксплуатацию после тщательной повторной сертификации, которая включала свыше 60 тыс. часов проверок, испытаний и оценок специалистами FAA выполненных Boeing изменений, а также около 50 часов лётных испытаний и испытаний на тренажёре FAA, и более 4000 часов заводских испытательных полётов и испытаний на тренажёрах Boeing [6].

По результатам расследования двух авиакатастроф, проведённым Комитетом по транспорту и инфраструктуре Палаты представителей Конгресса США, были определены ряд проблемных областей, повлиявших на безопасность 737 MAX [2].

### *Система улучшения характеристик маневрирования (MCAS)*



Топливозаправщик Boeing KC-46A Pegasus

Система MCAS была впервые реализована корпорацией Boeing на топливозаправщике ВВС США KC-46A Pegasus, разработанного на базе Boeing 767, но имела существенные различия с MCAS для 737 MAX. На топливозаправщике KC-46 система MCAS получила разрешение перекладки стабилизатора только один раз, а не многократно, как это было предусмотрено на 737 MAX. На KC-46 системе MCAS были предоставлены лишь ограниченные полномочия для опускания носа самолёта вниз, что облегчало пилотам, в случае необходимости, брать управления на себя. Пилоты могли легко отключить работу системы. Кроме этого, MCAS на KC-46 анализировала входные данные от двух датчиков угла атаки, а не от одного, как на 737 MAX [2].



Тренажёр Boeing 737 MAX

В 2012 году Boeing приступила на тренажёре 737 MAX к испытаниям разработанной для него системы продольной балансировки MCAS. 1 ноября 2012 года пилоту-испытателю Boeing потребовалось более 10 секунд, чтобы отреагировать на ошибочную повторяющуюся активацию MCAS, моделируемую на тренажёре. Эту ситуацию опытный пилот оценил как «катастрофическую» по последствиям, если бы она произошла во время реального полёта (гибель экипажа и пассажиров, потеря самолёта). Лишь 8 июля 2015 года в одном из документов корпорации впервые упоминается крайне медленная реакция пилота-испытателя на нештатную работу MCAS, и приводится ожидаемое, согласно FAA, время реагирования пилотов на подобное отклонение около 4 секунд (время на распознавание и необходимые действия). Boeing в последующем 6 раз ссылалась на данные испытаний 2012 года во внутренних документах, но никогда не делилась этой информацией с FAA, авиакомпаниями или пилотами 737 MAX. Эти данные, согласно отчёту комиссии Конгресса США, должны были привести к тщательной проверке влияния на пилотов многократной автоматической активации MCAS, к повышению требований к обучению пилотов для быстрого распознавания и реагирования на подобные ситуации, но были просто проигнорированы [2].



Основные компоненты MCAS 737 MAX

С самого начала создания 737 MAX для избежания увеличения стоимости проекта и снижения сроков сертификации и обучения пилотов, корпорация намеренно стремилась к тому, чтобы система MCAS не была определена как новая функция. 7 июня 2013 года сотрудники Boeing разработали стратегию для достижения этой цели. В частности, MCAS была представлена FAA и Европейскому агентству безопасности полётов (EASA) как простое программное расширение функций существующей системы улучшения устойчивости по скорости (Speed Trim System – управление стабилизатором на малых скоростях для предотвращения риска сваливания). Это позволило снизить требования к сертификации MCAS и подготовке пилотов. В итоге MCAS не стала приоритетной областью сертификации FAA, и критически важная для безопасности полётов система не получила должного внимания со стороны инженеров Boeing и FAA [2].

#### ***Использование MCAS данных только от одного ДУА***

В 2016 году инженеры и пилоты-испытатели Boeing неоднократно во внутренней электронной переписке выражали обеспокоенность по поводу использования MCAS данных только от одного ДУА, а также в отношении влияния ошибочных данных ДУА на систему и способность пилотов правильно реагировать на многократное срабатывание MCAS. Эти опасения либо не были должным образом изучены, либо просто проигнорированы или отклонены, как не имеющие отношения к безопасности. Из-за отсутствия формальных требований сообщать регулятору о таких опасениях, Boeing решил не передавать информацию о них FAA. Даже после катастрофы рейса JT610 29 октября 2018 года корпорация отказывалась признать, что в MCAS были серьёзные технические



проблемы, вызванные проектными решениями, и что пилоты 737 MAX нуждались в углублённой подготовке по данной системе [2].



ДУА, аналогичный датчикам рейса JT610 Lion Air

Электронная переписка сотрудников указывает об отсутствии понимания функционирования MCAS даже среди специалистов Boeing. В одном из писем один из инженеров ответил на озабоченность уполномоченного представителя FAA в отношении MCAS, что при получении ошибочных данных от ДУА система «немедленно отключается». В последующем неверные данные ДУА станут основным фактором, повлиявшим на обе авиакатастрофы 737 MAX, и в обоих случаях MCAS не отключилась.

Использование MCAS данных только от одного датчика означало, что если он ошибочно указывает на высокие значения угла атаки, система будет с интервалом 5 секунд подавать команды на электродвигатель стабилизатора, опуская каждый раз в течение 10 секунд нос самолёта вниз, если пилот не знает, как отключить эту систему. При проектировании MCAS для 737 MAX из-за отсутствия аппаратного резервирования был нарушен важнейший для обеспечения безопасности принцип единичного отказа, в соответствии с которым выход из строя одного датчика не должно нарушить работу всей системы [2].

Обнародование данного факта в 2019 году вызвал широкую критику среди специалистов, которым хорошо была известна уязвимость к отказам ДУА. С 2004 по 2018 год FAA получило не менее 216 сообщений о выходе из строя датчиков угла атаки или необходимости их ремонта, замены или калибровки. Приблизительно пятая часть этих сообщений касалась происшествий с самолётами Boeing, включая аварийные посадки из-за неисправности датчиков. В 2013 и 2016 году FAA выпустило две директивы лётной годности для различных моделей Boeing, касательно ДУА. Таким образом, корпорация была хорошо осведомлена о проблемах с ДУА, но отказалась от лётных испытаний влияния отказа датчика ДУА на работу MCAS и действия пилотов [2].

Специалистами Boeing была выполнена оценка рисков функционального отказа MCAS и времени реагирования пилотов на него, которая показала отсутствие опасностей, требующих дополнительно использовать второй датчик. Группа технических экспертов пришла к выводу, что лётный экипаж сможет справиться с данной ситуацией в течение 10 секунд, используя хорошо известные методы и процедуры пилотирования для самопроизвольной перекладки стабилизатора. Однако рассмотренная экспертами нештатная ситуация не включала в себя такого множества одновременных и, казалось бы, не связанных между собой оповещений и отклонений в показаниях приборов в кабине пилотов, которые сопровождают многократную активацию MCAS, вызванную неисправностью ДУА. Влияние такого информационного потока на способность пилотов правильно реагировать в подобной ситуации не было проанализировано ни в ходе функциональной оценки безопасности систем, ни в ходе испытаний на тренажёре [2].



Boeing 737 MAX Ethiopian Airlines за месяц до катастрофы

Показательно в этом плане поведение пилотов во время трагического рейса ET302 авиакомпании Ethiopian Airlines 10 марта 2019 года. Следователи выяснили, что пилоты были ознакомлены с бюллетенем Boeing (TBC-19) и директивой FAA (AD 2018-23-51), в которых были представлены действия по реагированию на неконтролируемую перекладку стабилизатора в крайнее положение из-за ошибочного сигнала о высоком значении угла атаки с одного из датчиков. Записи бортовых самописцев позволили детально восстановить функционирование систем и действия пилотов 10 марта 2019 года.

В 08:38:34 рейс ET302 совершил отрыв от земли. Разбег и взлёт прошли штатно, включая нормальные значения левого и правого датчиков угла атаки.

В 08:38:44 показания датчиков стали расходиться. Значения левого датчика (подключённого к MCAS) уменьшились до  $11,1^\circ$ , затем стали увеличиваться.

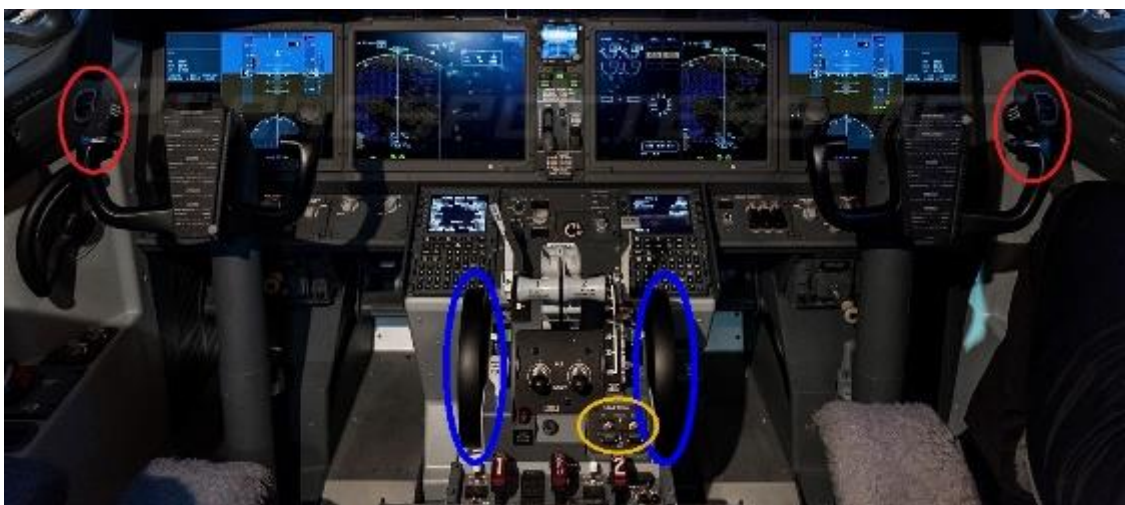
Максимальные показания левого датчика достигали  $74,5^\circ$ , при этом правого –  $15,3^\circ$ . Различия между ними колебались в диапазоне  $49^\circ\div 59^\circ$ . Из-за ошибочных значений левого ДУА произошло расхождение в показаниях высоты и скорости с левого и правого борта; включился механизм тряски левой рулевой колонки, предупреждая об опасности сваливания самолёта. Командир два раза безуспешно пытался включить автопилот, не понимая, что происходит. (На всех 737 MAX авиакомпании Ethiopian Airlines оповещение о рассогласовании показаний датчиков угла атаки отсутствовало [2, 29].)

В 08:39:23 автопилот был наконец включён, но через 33 секунды автоматически отключился. На PFD дисплеях отображалась непонятная динамика показателей высоты, скорости и тангажа, обусловленная ошибочными значениями левого ДУА.

В 08:39:59 командир принимает решение вернуться в пункт вылета из-за проблем с управлением полётом.

В 08:40:00 закрылки самолёта были убраны, автопилот не работал и по ошибочным данным левого ДУА активируется MCAS, посылая в течение 9 секунд команду электроприводу стабилизатора опустить нос самолёта. В течение 3 секунд в кабине звучит предупреждение «GPWS DON'T SINK» («не опускать нос, опасная близость земли»). На PFD дисплеях появилось сообщение «PULL UP» («поднять нос»).

С 08:40:14 командир в течение 2 секунд воздействовал на кнопки электропривода стабилизатора на штурвале для поднятия носа самолёта. Заметим, что во время любой переключки горизонтального стабилизатора электроприводом (системой MCAS или пилотами), с характерным трескающим звуком начинают вращаться два барабана ручного управления стабилизатором (один – справа от командира, другой – слева от второго пилота).



Кабина 737 MAX. Синим обведены барабаны ручного управления стабилизатором, красным – кнопки управления электроприводом стабилизатора на штурвалах, жёлтым – выключатели электропривода стабилизатора.

В 08:40:22 произошло второе автоматическое опускание носа самолёта MCAS. Вновь прозвучал сигнал «GPWS DON'T SINK», а на PFD дисплеях появилось сообщение «PULL UP».

С 08:40:28 командир в течение 9 секунд повторно попытался поднять нос самолёта через кнопки управления стабилизатором на штурвале. После этого сигнал предупреждения о близости земли пропал. В этот период второй пилот два раза предложил выключить электропривод стабилизатора (согласно процедуре, разработанной Boeing). Командир согласился.

В 08:40:38 электропривод стабилизатора был обесточен (лишь через 38 секунд система MCAS была деактивирована).

В 08:40:43 MCAS подала третью команду опустить нос, но электрическое управление стабилизатором было отключено.

В 08:40:45 командир и второй пилот начали вдвоём с усилием тянуть штурвалы на себя, чтобы поднять нос лайнера с помощью руля высоты. Их усилия на рулевые колонки колебались от 36 до 50 кг. (процедура Boeing в этой ситуации требовала использовать барабан ручного управления стабилизатором).

В 08:41:21 раздалось звуковое предупреждение о превышении скорости.

В 08:41:31, через 53 секунды после выключения электропривода стабилизатора, второй пилот наконец попытался использовать барабан ручного управления стабилизатором, чтобы поднять нос, но не смог его повернуть из-за высокой скорости самолёта (в конце полёта расчётные значения скорости достигли 927 км/час [4], при этом уже при скорости 426 км/час барабан ручного управления стабилизатором становится невыносимо тяжело повернуть). Пилоты продолжили прикладывать усилия на штурвалы, чтобы поднять нос самолёта.

В 08:42:47, когда прошло 243 секунды после отказа левого ДУА и 167 секунд после активации MCAS, командир задаётся вопросом: «Что это было?» И через несколько секунд сам отвечает: «Левый ДУА».

В 08:43:04 пилоты продолжили с усилием тянуть штурвалы на себя. (Когда оба пилота прикладывали значительные усилия на штурвалы угол атаки увеличивался, когда только один – уменьшался.) Командир даёт указание второму пилоту включить электропривод стабилизатора.

В 08:43:11 командир в очередной раз безуспешно попытался включить автопилот и два раза нажал на кнопки электропривода стабилизатора на штурвале для поднятия носа самолёта.



В 08:43:21 MCAS в четвёртый раз подаёт команду электроприводу стабилизатора на опускание носа, переводя самолёт в режим неуправляемого сваливания.

В 08:43:44 самолёт врезался в землю.



Эксперты NTSB осматривают обломки на месте крушения рейса ET 302

Расследование катастрофы рейса ET302 в Эфиопии наглядно продемонстрировало сложности, которые испытывали в реальных условиях пилоты, информированные о действиях при неконтролируемой переключке стабилизатора в крайнее положение из-за неисправности одного ДУА. Информационная перегрузка и переживаемый пилотами стресс не позволили им оперативно обнаружить нештатную ситуацию с переводом самолёта в режим сваливания. В результате высокая скорость самолёта сделала невозможной следование установленной Boeing процедуре, которая оказалась бесполезной в данных условиях. В рамках своей оценки функциональной опасности специалисты Boeing не проанализировали все многочисленные сигналы оповещений и отклонения в показаниях приборов, которые могут сопровождать такие ситуации, а также их взаимное влияние на пилотов. Предположения о времени реагирования пилотов (10 секунд) оказались неверными. Проблемы, с которыми столкнулись пилоты, вызвали их замешательство и растерянность, сыгравшие ключевую роль в обеих авиакатастрофах [2]. Пилотам рейса ET302 потребовалось 38 секунд, чтобы выключить электропривод стабилизатора (деактивировать MCAS), и ещё 53 секунды, чтобы вручную попытаться поднять нос самолёта.

Уже после катастрофы с рейсом ET302, на тренажёре FAA была смоделирована аналогичная ситуация. Оценивалось время реагирования на неё трёх опытных действующих пилотов. В результате им потребовалось 49, 53 и 62 секунды для

реагирования на данную ситуацию, вызвав шок у руководства FAA [5]. В соответствии с принятыми предположениями специалистов Boeing при оценке рисков функционального отказа MCAS, в реальных условиях полёта это имело бы катастрофические последствия.



Главный инженер Д. Гамильтон и Генеральный директор Boeing Д. Меленберг на слушаниях в Конгрессе по поводу двух авиакатастроф, унёсших 346 жизней

Согласно расследованию комиссии Конгресса США, MCAS, разработанная Boeing, нарушала её собственные внутренние требования к конструкции, согласно которым система «не должна оказывать нежелательного воздействия на пилотирование самолёта» и «не мешать выходу из пикирования». Именно это имело место в обеих катастрофах 737 MAX, когда управляющие команды MCAS каждый раз могли опустить нос самолёта на  $2,5^\circ$  (в документах по оценке безопасности самолёта, предоставленных FAA, фигурировала цифра  $0,6^\circ$ ). Данные нарушения требований стали известны FAA только после двух авиакатастроф. Полученная в ходе сертификации техническим персоналом FAA информация по MCAS была столь ограничена и фрагментарна, что не позволяла сформировать представление о ключевых элементах системы, включая её архитектуру, входные сигналы и пределы полномочий [2].

### **Литература**

1. Aircraft Accident Investigation Report. KNKT.18.10.35.04. PT. Lion Mentari Airlines, Boeing 737-8 (MAX), PK-LQP. Republic of Indonesia, 29 October 2018 / KNKT, 2019. 322 p.
2. Final Committee Report on the Design, Development and Certification of the B737 MAX / U.S. House Committee on Transportation and Infrastructure, 2020. 245 p.
3. Машин В.А. Культура безопасности: предвестники значимых событий // Электрические станции, 2023. № 3, С. 34-48.

4. Investigation Report on Accident to the B737-MAX 8 Reg. ET-AVJ Operated by Ethiopian Airlines 10 March, 2019 / EAIB, 2022. 331 p.
5. Robison P. Flying blind: the 737 MAX tragedy and the fall of Boeing / P. Robison. New York: Doubleday, 2021. 336 p.
6. Summary of the FAA's Review of the Boeing 737 MAX. Return to Service of the Boeing 737 MAX Aircraft / FAA, 2020. 99 p.