

# ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НАУКАСТИНГА ДЛЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВИАЦИИ В РАМКАХ РЕАЛИЗАЦИИ ГЛОБАЛЬНОГО АЭРОНАВИГАЦИОННОГО ПЛАНА (ГАНП)

*А.Р. Иванова, Н.П. Шакина*

*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр  
Российской Федерации  
ivanova@tescom.ru*

## **Введение**

В настоящее время заблаговременность всего спектра авиационных прогнозов ограничена областью действия краткосрочного прогнозирования, верхняя граница которого, по определению, составляет 72 часа [1]. Прогнозы по маршруту, включающие поля ветра и температуры, выпускаются с заблаговременностью от 6 до 36 ч с интервалом каждые 3 ч. Выпуск карт особых явлений – SW (significant weather), на которых прогнозируются характеристики струйных течений, тропопаузы, зон обледенения, турбулентности, облачности и т. д. производится для больших территорий (сравнимых с площадью полушария) и должен осуществляться каждые 6 ч с заблаговременностью 24 и 30 ч. Период действия прогнозов по району полетной информации в формате GAMET не превышает 6 ч. Что касается ситуации на аэродромах, здесь прогнозы TAF (заблаговременность 9–30 ч, в зоне действия сверхкраткосрочного (2–12 ч) и краткосрочного (12–72 ч) прогнозов) могут быть скорректированы сообщениями типа TREND, время действия которых составляет не более 2 ч с момента выпуска сводки [2]. Таким образом, действие большинства авиационных прогнозов рассчитано на период от нескольких часов до нескольких десятков часов.

При этом временные масштабы явлений в нижней тропосфере, оказывающих влияние на деятельность авиации, часто составляют минуты или десятки минут. Это относится, например, к изменчивости видимости и высоты нижней границы облачности – основным факторам задержки рейсов в аэропортах умеренных широт. Кроме того, многие явления, связанные с конвекцией (например, шквал или нестационарный сдвиг ветра) и представляющие опасность для воздушных судов (ВС), имеют продолжительность, исчисляемую минутами. Прохождение их в районе аэродрома может оказать неблагоприятное и даже катастрофическое воздействие на ВС при взлете и посадке, когда возрастает риск потери устойчивости ВС. Специфика авиационного прогнозирования состоит в том, что у пилота ВС, летящего с огромной скоростью, слишком мало времени на принятие решения для минимизации рисков, поэтому метеорологическая информация о потенциальной опасности должна быть максимально точной в пределах возможно более короткого промежутка времени.

### **Численное прогнозирование явлений, представляющих интерес для авиации**

Оперативные прогнозы погоды, в том числе прогнозы погоды для авиации, базируются на решении систем полных уравнений в моделях численного прогноза погоды. Поскольку эти дифференциальные уравнения являются нелинейными, применяется подход, позволяющий преобразовать их в систему линейных уравнений путем дискретизации в пространстве и времени, а затем решать уже эту алгебраическую систему, связывающую наборы физических параметров атмосферы (температуру, давление, ветер, влажность и т. п.) в специально выбранных точках – узлах вычислительной сетки. Очевидно, что результат прогноза будет зависеть в большой мере от того, насколько точно описано состояние атмосферы в начальный момент времени, т. е. от густоты наблюдательных сетей, данные которых тем или иным образом интерполируются в узлы сетки. Показано, что для адекватного описания одной волны необходимо по меньшей мере 5 узлов сетки. 10 узлов уменьшают ошибку аппроксимации до 6 % [17].

Масштаб явлений в свободной атмосфере (например, горизонтальная протяженность струйных течений) составляет тысячи километров, и для их прогноза вполне достаточно (при условии насыщения наблюдениями) горизонтального разрешения модели порядка сотни километров. В то же время такие черты крупномасштабных объектов, как области максимального ветра в струйных течениях или зоны деформации поля тропопаузы (воронки, стримеры), имеют на порядок меньшие размеры и в этом случае не могут быть адекватно описаны моделью с крупной сеткой [4].

Отметим также, что для прогнозирования движений, в которых горизонтальный масштаб гораздо больше вертикального, вполне успешно применяется квазистатическое приближение (когда вместо уравнения движения по вертикальной оси в предположении, что вертикальные ускорения мало отличаются от нуля, используется основное уравнение статики). Для процессов, которые не могут быть описаны явно, применяются параметризации. С помощью параметризаций описывают, например, конвекцию, или процессы в погранслое.

В отличие от свободной атмосферы, в погранслое явления, оказывающие влияние на полет, взлет и посадку воздушных судов, часто имеют горизонтальные масштабы от десятков метров до десятков километров. Временные масштабы при этом находятся в диапазоне от нескольких минут до нескольких часов. Для воспроизведения таких процессов принципиально не только уменьшение шага в численных моделях прогноза погоды по пространству и по времени, но и изменение физического описания процессов (переход от параметризаций к явному описанию). На малых масштабах необходимо более точное описание вертикальных движений, то есть переход к негидростатическому приближению. Кроме того, некоторые потенциально опасные для авиации явления в погранслое (вихри спутного следа, нестационарный сдвиг ветра и др.) относятся к «подсеточным» объектам (их горизонтальные размеры меньше шага сетки) и не могут быть явно воспроизведены численной моделью.

Таким образом, успешность модельного прогнозирования явлений и процессов, представляющих интерес для авиации,

усложнена рядом факторов. К ним относятся точность и покрытие доступной системой наблюдений, а также описание процессов в модели и размер шага сетки, определяющий, насколько аккуратно модель может воспроизводить физические и динамические процессы.

Сравнительно недавно модели численного прогноза погоды (ЧПП) начали воспроизводить в явном виде такой важный процесс, как конвекция. Это стало возможным благодаря появлению моделей для ограниченных территорий, использующих сетку с шагом, не превышающим 1 км. Очевидно, что плотность наблюдений для таких территорий должна быть очень высока. Это касается как пространственного масштаба, так и частоты наблюдений. Последняя делает актуальным вопрос непрерывного усвоения данных моделью. Хотя сегодняшние вычислительные возможности неуклонно возрастают с каждым годом, цикл полного оперативного обновления данных пока еще ограничен часами, в то время как конвективные феномены и другие локальные явления живут десятки минут. Таким образом, модельный прогноз погоды недостаточен для адекватного воспроизведения некоторых локальных явлений (например, шквалов) и пока еще часто ограничивается их общим описанием на региональном масштабе.

### **Понятие наукастинга**

Описание изменчивости процессов на коротких интервалах времени обуславливает необходимость перехода к технологии **наукастинга**, требующей непрерывных измерений с большой плотностью.

Термин «наукастинг» (nowcasting), введенный в середине 70-х К.А. Браунингом, воплотил широкий спектр методов интенсивных наблюдений, развитых для целей прогноза погоды на несколько часов. Эти методы связаны с быстрой переработкой (процессингом) наборов данных высокого разрешения, получаемых различными измерительными средствами (главным образом радарными и спутниковыми). Эволюция наукастинга как ветви оперативной метеорологии была тесно переплетена с послевоенными достижениями в дистанционном зондировании, телесвязи и компьютерных

технологиях. Более подробную информацию об этом можно найти в обширном обзоре Клайва Пирса с соавторами [12].

В настоящее время наукастинг («прогноз текущей погоды» в русском переводе, согласно Наставлению ВМО [1]) представляет собой прогноз с заблаговременностью от нескольких минут до нескольких, как правило не более 6 часов. Например, в классификации сроков метеорологических прогнозов Росгидромета, основанной на Наставлении по глобальной системе обработки данных [1], верхняя граница заблаговременности наукастинга составляет 2 ч, в прогнозе осадков, основанном на радарной информации, – 3 ч, во многих метеослужбах мира придерживаются границы, установленной Браунингом, – 6 ч. Часто при прогнозировании какого-либо явления перекрываются границы наукастинга и сверхкраткосрочного прогноза (до 12 ч). Прогнозы на временных масштабах наукастинга носят название наукастов (по аналогии с forecast – прогноз вперед, nowcast – прогноз на текущий момент).

С 60-х гг. прошлого века в ряде регионов стали доступными в реальном близком времени данные наблюдение радаров и спутников. Первые попытки использования этих данных для прогноза на короткие сроки с помощью экстраполяции изображений касались полос осадков. Было установлено, что объекты больших размеров живут дольше, чем маленькие (время жизни последних – до нескольких десятков минут). Эти ключевые находки согласовывались с ранними исследованиями мультимасштабных свойств атмосферы и связанных с ними ограничений атмосферной предсказуемости [12].

Термин «наукастинг» характеризует не только определенные интервалы заблаговременности, но и, прежде всего, информационную основу и техническую реализацию прогнозирования. Это предполагает использование мощной вычислительной техники, позволяющей реализовать численный прогноз по одной или нескольким негидростатическим моделям, а также обязательное наличие большого объема исходных данных наблюдений и развитой системы их передачи и усвоения.

В настоящее время реализация прогнозов на очень короткие сроки базируется на широком спектре информации наземной,

радарной, спутниковой систем наблюдения. Это автоматические станции погоды, которые передают сведения о давлении, температуре, влажности скорости и направлении ветра (с осреднением от нескольких секунд до нескольких минут), радарные измерения. Кроме этого, реализация включает в себя технологическую организацию непрерывных потоков данных, усвоение этих данных численными моделями с высоким горизонтальным разрешением (порядка километра). Для этого необходимо наличие больших вычислительных мощностей, так как речь идет о непрерывном усвоении огромных потоков информации. Например, геостационарные спутники имеют горизонтальное и временное разрешение порядка нескольких километров и нескольких минут соответственно. Спутниковые измерения могут поставлять данные о радиации, о восстановленных профилях температуры и влажности, о скорости ведущего потока в тропосфере (так называемый «облачный ветер») и других характеристиках. Современные метеорологические радиолокаторы имеют радиус обзора 250–300 км и позволяют осуществлять циклические наблюдения с периодичностью от 3 до 15 мин в круглосуточном автоматизированном режиме, предоставляя данные об облачности, осадках, радиальном ветре с высоким пространственным разрешением (0,5–1,0 км) на площади до 200 тыс. км<sup>2</sup> [3].

Помимо сетевых приборов, осуществляющих непрерывную регистрацию параметров атмосферы а автоматическом режиме, информацию получают от специально установленных несетевых средств дистанционного зондирования – температурных и ветровых профилемеров, лидаров и т. д. Данные приборов, производящих непрерывные измерения, как правило, подвергаются осреднению (от нескольких секунд до 10 минут). Так, непрерывный волновой лидар ПЛВ-2000 каждые 4 с обновляет информацию о скорости и направлении ветра в диапазоне высот от 10 м до 2 км. Пространственное разрешение данных измерений по вертикали с помощью подобных приборов находится в диапазоне от нескольких метров до нескольких десятков метров. Например, температурный профилемер МТП-5 проводит измерения температуры в вертикальном направлении до высоты примерно 1000 м с разрешением примерно 50 м.

Реализация усвоения всей вышеописанной информации – сама по себе очень непростая наукоемкая задача. Она усложняется еще и тем, что на масштабах наукастинга данные измерений должны усваиваться практически непрерывно. В настоящее время для этой цели применяют техники «квазинепрерывного» усвоения типа наджинга или ансамблевого фильтра Калмана.

В качестве одной из оперативно используемых подобных систем упомянем систему быстрого обновления (Rapid Refresh, RAP). Это оперативная система ежечасной ассимиляции/моделирования, принятая в Национальных центрах прогноза окружающей среды (NCEP), США. Она состоит главным образом из модели ЧПП с шагом 13 км (инсталлированной над территорией Северной Америки) и системы анализа/ассимиляции для инициализации этой модели. RAP дополняется моделью с более высоким разрешением (3 км) и быстрым обновлением (High-Resolution Rapid Refresh, HRRR). В ней обновление данных происходит также ежечасно, но покрывает она меньшую область [19]. Система RAP развита для обеспечения пользователей, которым необходимы сверхкраткосрочные прогнозы погоды с возможностью быстрой корректировки, например для авиации (рис. 1).

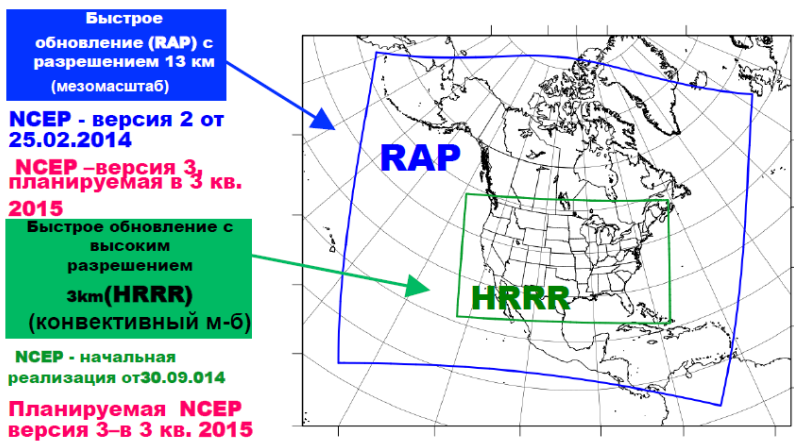


Рис. 1. Области действия моделей быстрого обновления, используемых для генерации авиационных прогнозов в США.

## **Некоторые современные системы наукастинга для авиации**

К предиктантам методов авиационного наукастинга и сверхкраткосрочного прогноза погоды относятся, прежде всего, те характеристики погоды, которые наиболее сильно влияют на безопасность взлета, посадки и полета ВС – явления, связанные с мощной (грозовой) конвекцией (гроза, град, ливни, шквал, порывы ветра), те явления, что понижают видимость до значений ниже категориальных минимумов (осадки, туман и т. п.). Кроме того, для авиации актуальной является информации об изменении высоты нижней границы сплошной облачности, времени перехода температуры через 0 °С, периодах значительных скоростей и порывов ветра и т. п.

Исходя из особенностей предиктантов, часто системы наукастинга бывают локальными, т. е. предназначенными для прогнозирования одного опасного явления (например, сдвига ветра) или неблагоприятной погоды в конкретный сезон (условия «зимней погоды») [13], либо универсальными, дающими информацию о любых неблагоприятных явлениях в любое время года [10].

Применяемые в мировой практике методы сверхкраткосрочного прогноза и наукастинга преимущественно основаны на статистической обработке рядов данных о предикторах (в качестве которых используются измерения с дискретностью 10–30 мин на аэродроме и на достаточно большом числе окрестных станций, а также модельные прогностические величины и данные дистанционных измерений, прежде всего с помощью радаров и спутников) и о предиктантах, охарактеризованных выше. Разработка таких методов производится как в крупных метеорологических центрах, так и в подразделениях, непосредственно занятых обеспечением авиации, в том числе на международных аэродромах с интенсивным воздушным движением.

Рассмотрим особенности построения методов, систем и технологий сверхкраткосрочного прогноза и наукастинга на конкретных примерах из мировой практики обеспечения авиации. Пионерами в авиационном наукастинге являются США и Канада. Прогнозирование неблагоприятных условий зимней погоды, начиналось



с таких систем, как канадская AVISA (прогнозирование осадков и обледенения в районе аэродрома) и разработанная в США система WSDDM (Weather Support to Deicing Decision Making). В настоящее время в 46 аэропортах Канады функционирует система универсального наукастинга CAN-Now. Исходными данными для прогноза на 1–6 ч являются наземные наблюдения автоматических станций, численные прогнозы, данные радаров, радиометров и спутников. В числе предиктантов – осадки в виде снега, дождя и гололеда, метель, обледенение в облаках, большие скорости ветра и его порывов, сдвиги ветра, турбулентность, низкая облачность, плохая видимость и туман, в теплое время – наличие конвективной облачности и грозная деятельность [10].

В данной системе применяется так называемая методика адаптивного смешивания данных моделей и наблюдений (ABOM – Adaptive Blending of Observations and Models). Суть ее состоит в следующем. Прогностическое значение для каждого параметра определяется как коррекция текущего значения с использованием тренда. В свою очередь, тренд складывается из двух составляющих: первая – тенденция изменения прогностической величины, полученная по наблюдениям, вторая – тенденция как результат численного прогноза локальной или региональной модели, использующая интегрированную систему с весами (INTW – integrated weighting system). Каждая из двух составляющих входит в уравнение со своим весом, определяемым интегрированной системой INTW (integrated weighting system) по данным предыдущего прогноза (полученного часом ранее) и обновляемым каждые 15 мин. Результатом наукастинга служат «карты ситуаций», выпускаемые с периодичностью 15 мин. Пример для аэропорта Торонто им. Лесли Пирсона (CYYZ) представлен на рис. 2. Здесь в цветовой шкале, обозначающей степень опасности ситуаций (от зеленого – «безопасно» до красного – «очень опасно») дается (сверху вниз) информация о ветре на трех взлетно-посадочных полосах, видимости, нижней границе облачности, сдвиге ветра/турбулентности, осадках, грозах/молниях, обледенении.

В аэропорту Мюнхен недавно начала работать система автоматического наукастинга WHITE (Winter Hazards In Terminal

Environment – зимние опасные явления погоды в окрестности аэропорта). Предикторами ее являются момент появления, продолжительность и тип осадков, обледенение ВПП, обледенение самолетов на земле, морозный туман и видимость. Автоматическая система ассимилирует данные из различных источников – это 280 автоматических станций вокруг аэропорта, производящих измерения каждые 15 мин, композитные радарные данные, доступные каждые 5 мин, и выходные данные мезомасштабной численной модели COSMO-DE с разрешением 2,8 км (к моменту написания статьи уже 2,2 км).

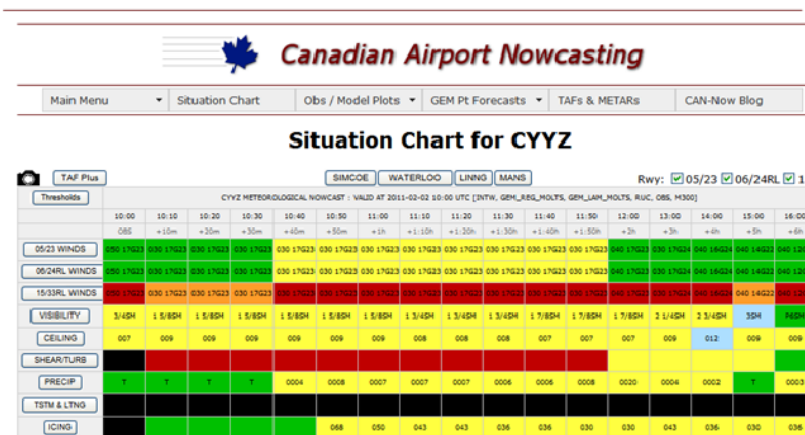


Рис. 2. Пример продукции наукастинга для аэропорта им. Лестера Б. Пирсона (Торонто) [11].

Дальнейшее развитие системы наукастинга предусматривает интеграцию данных самолетных наблюдений AMDAR, использование локальной модели COSMO-MUC, а также спутниковых данных METEOSAT второго поколения. Разработчики системы собираются привлечь модельные ансамблевые прогнозы для улучшения поля первого приближения и реализовать систему верификации наукастов, действующую в реальном времени [11].

Разработанная в США прогностическая локальная авиационная система LAMP (Localized Aviation MOS System) предназначена

для прогнозирования комплекса метеорологических величин и явлений, включая высоту нижней границы облаков и горизонтальную дальность видимости, с заблаговременностью от 1 до 25 ч через каждый час. Предиктанты – для наличия и типа осадков, балла и высот нижней границы облачности, наличия гроз, температуры, точки росы, направления и скорости ветра, для которых прогнозы выдаются в альтернативной и вероятностной форме. В качестве исходных данных используются наблюдения на 1591 станциях на территории США (сюда входят синоптические и аэродромные наблюдения, а также данные сети грозопеленгаторов), композитная радарная информация, климатические характеристики и выходная продукция моделей ЧПП. Прогноз основан на уравнениях множественной линейной регрессии, полученных как для каждой станции (для прогноза температуры, точки росы, скорости и направления ветра), так и для группы станций со сходными физико-географическим условиями (для прогноза редких явлений, таких как облачность с нижней границей ниже 120 м или видимость < 0,5 мили). Передача прогностической информации осуществляется в альтернативной или вероятностной форме [15].

В умеренных широтах с наибольшим воздушным трафиком основными неблагоприятными факторами, влияющими на регулярность и безопасность полетов, в холодный сезон являются низкая облачность и плохая видимость, в теплый сезон – явления, связанные с конвекцией. Для прогноза последней в конкретных районах используются, помимо перечисленных выше, локальные системы наукастинга. К ним относится, например, система ANC (Auto-NowCast), используемая в NCAR для прогноза зарождения, роста и развития опасных конвективных явлений с заблаговременностью 2 ч через 15 мин. Система использует данные сети доплеровских радаров, спутниковую информацию и численные прогнозы погоды. В качестве другого примера наукастинга конвекции можно привести технологию AROME-NWC, используемую в Meteo-France и основанную на объектно-ориентированном подходе. Для каждого индивидуального конвективного очага указывается время и координаты возникновения, отражаемость (по радарным данным), скорость и направление его перемещения, текущая

интенсивность осадков. Обновление данных происходит каждые 10 мин. Горизонтальное разрешение модели AROME в системах наукастинга может достигать 500 м [7].

В отличие от умеренных широт, для обслуживания авиации в тропиках следует учитывать возможность развития неблагоприятных явлений, связанных с конвекцией в течение всего года. Для этого используется, например, разработанная в Гонконге [23] система SWIRLS (Short-range Warning of Intense Rainstorms in Localized Systems – краткосрочное предупреждение интенсивных ливней в локализованных системах), основанная преимущественно на радарных данных, на технике экстраполяции радарного эха. Система ATLAS (Aviation Thunderstorm And Lightning Alerting System) предназначена для предупреждения авиации о грозах и электрических разрядах, так же как и автоматическая система оповещения о грозах ATSAS – Automated ThunderStorm Alerting Service. В основе технологий наукастинга для прогноза конвективных явлений чаще всего лежит использование спутниковой и радарной информации с применением алгоритмов, таких как RDT (Rapidly Developing Thunderstorms), MASCOTTE (Maximum Spatial Correlation Tracking Technique); ForTraCC (Forecasting and Tracking the Evolution of Cloud Clusters) и др. [16].

Обычной практикой в системах наукастинга является формулировка вероятностных прогнозов, где в качестве предикторов привлекаются ансамблевые численные прогнозы. Это достигается с помощью ансамбля моделей и/или вариантов одной и той же модели, отличающихся либо слегка измененными начальными условиями, либо другими характеристиками. Каждый член ансамбля (количество их обычно составляет несколько десятков) производит прогностические поля, в которых имеются различия. Повторяемость в пределах ансамбля различных градаций какого-либо явления затем интерпретируется как оценка вероятности возникновения этих градаций в реальных условиях.

При наличии достаточных вычислительных ресурсов и необходимой исходной информации технология наукастинга с помощью ансамблевого прогнозирования разрабатывается для конкретных аэродромов. Такая система, например, развита для аэропорта

Шарль де Голль (Париж, Франция) с целью прогнозирования эпизодов понижения высоты нижней границы облачности ниже 60 м и видимости менее 600 м с заблаговременностью 0–12 ч [7].

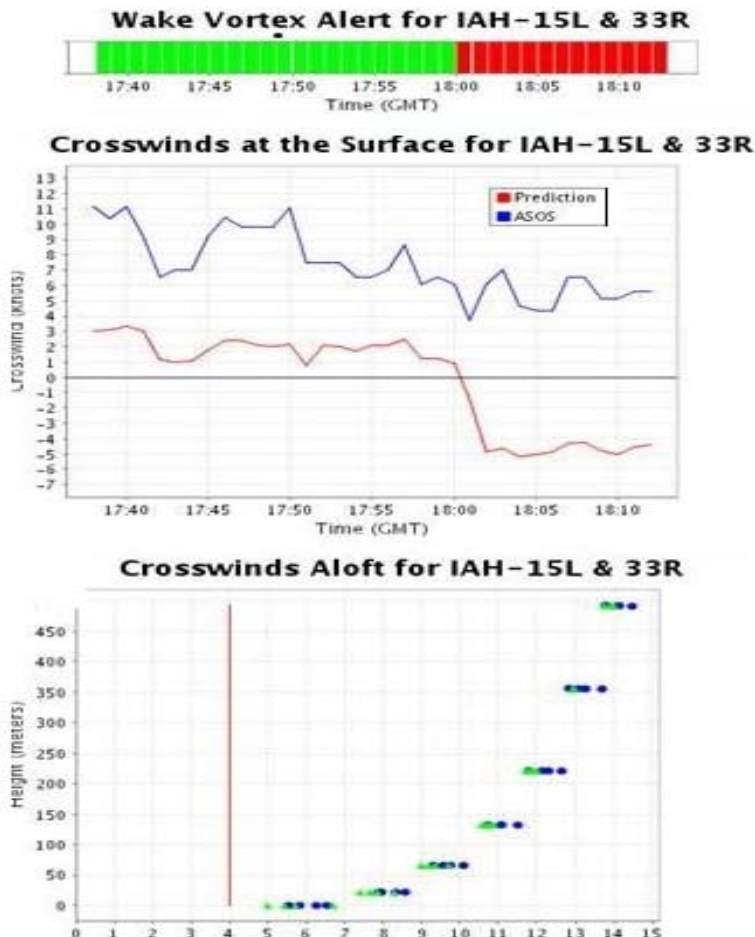
Среди других систем наукастинга особняком стоят системы предупреждения вихрей спутного следа. Это особый вид техногенной турбулентности, негативно влияющий на авиационную безопасность, особенно при взлете и посадке воздушных судов. В настоящее время многие крупные аэропорты стремятся установить системы вихревой безопасности, позволяющие ослабить негативное воздействие вихрей спутного следа. Эти системы состоят, в принципе, из двух основных узлов: средств наблюдений за возникновением спутных вихрей, ASOS (обычно это импульсные или когерентные доплеровские лидары, которые позволяют определять размеры и интенсивность вихрей, их смещение относительно ВПП, положение относительно земной поверхности) и технологии наукастинга ветра и температурной стратификации, позволяющей определять траектории смещения и продолжительность существования таких вихрей.

Приведем в качестве примера систему смягчения влияния вихревой турбулентности в зоне взлета ВС (WTMD), действующую в аэропорту Сан-Франциско [14]. Алгоритм прогнозирования ветра рассчитывает период, когда боковой ветер на взлетно-посадочной полосе (рис. 3, сверху) и до высоты 500 м (рис. 3, внизу) будет обеспечивать условия минимального влияния спутного следа от взлетевшего самолета на судно, следующее за ним. Шкала вихревой опасности в верхней части рисунка, красным цветом отмечен «опасный» интервал времени.

Прогноз приземного ветра в данной системе рассчитывается на основе статистического анализа наблюдений за ветром в течение последних 35 мин (данные автоматических станций наземного наблюдения, оснащенных акустическими анемометрами, с интервалом 1 мин). Прогноз ветра на уровнях до 500 м извлекается из цикла быстрого обновления прогностической модели NCEP.

Еще один пример системы вихревой безопасности – прогностическая система P2P, модель прогноза и переноса вихрей спутного следа, работающая в аэропорту Франкфурт в режиме

реального времени. Она использует иерархию моделей ЧПП внутри системы NOWVIV (NOWcasting Wake Vortex Impact Variables), которая работает с данными акустических анемометров и содара/радиоакустической звуковой системы (SODAR/RASS) [8].



**Рис. 3. Выходная продукция системы наукастинга WMTD в аэропорту Сан-Франциско.**

Таким образом, в мире существует довольно много прогностических систем наукастинга и сверхкраткосрочного прогноза для авиации. Для комплексации различных видов информации применяется различный математический аппарат (экстраполяция, блендинг, построение ансамблей, нечеткая логика) [18]. Важнейшими принципами построения технологий авиационного наукастинга остаются использование данных густой сети наземных станций и комбинирование различных видов наблюдений с численным прогнозом погоды.

### **Перспективы развития наукастинга для авиации в рамках Глобального аэронавигационного плана**

Реализация Глобального аэронавигационного плана (ГАНП) подразумевает поэтапную модернизацию всей аэронавигационной системы до 2028 г. [9]. Одним из компонентов этой системы является улучшение и расширение метеорологической информации для аэронавигационного обеспечения. Ключевой концепцией методологии ASBU – авиационной системы блочной модернизации – являются так называемые «операции, основанные на траекториях», подразумевающие быструю интеграцию прогнозов с высоким разрешением и продукции технологии наукастинга в систему организации воздушного движения (ОрВД).

Если до сих пор метеорологические полномочные органы занимаются только сбором и передачей информации, то в будущем конечным продуктом станет преобразование этой информации в компоненты влияния на ОрВД. К 2028 г. система должна прогнозировать особые для авиации явления в пределах 20-минутного интервала.

Для подготовки и апробации возможных путей реализации задач ГАНП, в 2014 г. совместно Комиссией по атмосферным наукам и Комиссией по авиационной метеорологии ВМО было объявлено об организации исследовательского демонстрационного проекта для авиации (AvRDP – Aviation Research Development Project). Инициатива проекта была поддержана Всемирной программой исследования погоды, рабочей группой по изучению наукастинга и рабочей группой по мезомасштабному прогнозированию.

К ключевым целям этого проекта относятся:

- демонстрация текущих достижений техник наукастинга и мезомасштабного моделирования для концепции «операций, основанных на траекториях»;

- определение отвечающих требованиям ASBU методов наукастинга (детерминистских и вероятностных), мезомасштабного моделирования и их верификации;

- перевод метеоинформации в «продукт влияния» в системе ОрВД.

Для реализации этих задач предусматривают развитие технологий наукастинга в следующих направлениях:

- анализ систем погоды, интегрированный для воздушных коридоров (CIWS – corridor integrated weather system), позволяющий точно прогнозировать время прибытия многочисленных ВС в аэропорты с высоким трафиком;

- формулировка почасовых предупреждений о различных особых явлениях с использованием цветовой шкалы опасности для каждого аэропорта;

- почасовой прогноз особых явлений и их комплексирование для территорий одного или нескольких государств;

- объектно-ориентированный наукастинг (в основном связанный с конвективными объектами) с указанием времени их зарождения, направления движения, количества осадков, радиолокационных характеристик (средних и максимальных) и т. д.;

- применение технологии блендинга (смешивания наблюдений и прогнозов) для прогнозирования сверхкраткосрочных изменений некоторых характеристик (видимости, низкой облачности и др.).

Проект AvRDP организуется в аэропортах различных климатических зон, чтобы охватить весь спектр неблагоприятных явлений. Требования к аэропортам таковы: они должны иметь высокую пропускную способность и обеспечивать высокую плотность метеонаблюдений, включающих данные современных систем дистанционного зондирования и самолетные данные. Кроме того, необходима возможность реализации численного моделирования с высоким разрешением.



На первом этапе об участии в проекте объявили пять международных аэропортов (табл. 1). Это аэропорты Шарль де Голль (CDG, Париж, Франция), им. О.Р. Тамбо (JNB, Йоханесбург, Южно-Африканская республика), им. Лестера Б. Пирсона (YYZ, Торонто, Канада), а также китайские аэропорты Хунцяо (SHA, Шанхай) и Чхеплакок (HKG, Гонконг). По данным за 2013 и 2014 гг. количество взлетно-посадочных операций (ВПО) в аэропортах Парижа, Гонконга и Торонто превышало 1000 в сутки, в аэропорту Йоханесбурга это число превысило 550, в аэропорту Шанхая – 300.

*Таблица 1*

**Особенности климатических режимов и предиктанты наукастинга в аэропортах – участниках AvRDP**

<b>Аэропорт</b>	<b>Особенности климатического режима</b>	<b>Элементы наукастинга</b>
CDG	Умеренный климат Северного полушария, расположен внутри континента	Зимняя погода: снегопад, обледенение, низкие температуры. Туман
HKG	Субтропический климат, аэропорт окружен водой и расположен близко к горам	Конвекция и грозы. Низкая видимость и облачность
JNB	Субтропический климат Южного полушария, внутри континента	Конвекция. Туман
SHA	На границе субтропических и умеренных широт, расположен внутри материка, но недалеко от дельты реки Янцзы и побережья Восточно-Китайского моря.	Конвекция
YYZ	Средние широты, расположен внутри материка, но недалеко от озера Онтарио	Зимняя погода: снегопад, обледенение, низкие температуры, тип и кол-во осадков. Скорость и направление ветра, сдвиг ветра и порывы. Турбулентность. Низкая облачность

Информационные и технологические возможности этих аэропортов представлены в табл. 2.

Данные аэропорты уже имеют опыт прогнозирования текущей погоды и используют системы наукастинга, такие как NWC-SAF (Йоханесбург, Париж) [20], CAN-NOW (Торонто), INCA-CE (Париж), WINDS (Шанхай), ATSAS (Йоханесбург) [21], SWIRLS и ATLAS (Гонконг) [22].

Большинство из этих систем предназначены для наукастинга опасных конвективных явлений. Это упомянутые выше системы SWIRL, ATLAS, ATSAS, а также ASPOC (Application de Signalisation et de Prévision des Orages pour la Circulation aérienne) – приложение об оповещении и прогнозе гроз для воздушного движения.

Таблица 2

**Информационная и научная база аэропортов – участников AvPDP**

Аэропорт	Наблюдения								Системы наукастинга и модели			Данные ОрВД				
	МРЛ или ДМРЛ	Геостационарный спутник	Ветровой профайлер	Лидар	Анеометры	Датчик видимости	Данные AMDAR	Другие наблюдения	Система наукастинга	Микро/мезомасштабная модель ЧПП	Региональная модель ЧПП	Сообщения пилотов (PIREP)	Данные о ВС	Данные о пропускной способности	Данные о воздушном сообщении	Прочее (напр., система АЗН-В)
CDG	+	+			+	+	+	+	+	+						
HKG	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
SHA	+	+	+		+	+	+		+	+	+	+	+	+		
JNB	+	+				+					+	+				
YYZ	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+					

В отличие от них, INCA – Integrated Nowcasting for Comprehensive Analysis (Австрия) – система наукастинга, прогнозирующая, кроме общих метеорологических параметров (температура, скорость ветра, влажность, давление), важные для авиации характеристики: потенциал обледенения, видимость, порывы ветра. Система наукастинга NWC-SAF использует преимущественно спутниковую информацию (Satellite Application Facility).

В ходе стартового совещания по проекту AvRDP к вышеупомянутым участникам был добавлен еще один канадский аэропорт – Икалуит (YFB), эксплуатирующий описанную ранее систему наукастинга CAN-Now. Икалуит не является международным аэропортом с высокой загруженностью, однако представляет интерес с точки зрения крайне сложных условий погоды арктического типа, характеризующейся сильным ветром, метелями, снегопадами, плохой видимостью и низкой облачностью.

В ходе реализации эксперимента предполагается осуществить сбор данных (как наземных, так и дистанционных, включающих информацию с бортов воздушных судов) в периоды интенсивных наблюдений, отработать на этих данных методики наукастинга и провести верификацию для детерминистских и вероятностных типов наукастов. Для верификации полученной продукции необходимо также собрать информацию ОрВД о плотности полетов, загруженности авиатрасс, задержке рейсов и убытках (для подсчета экономического эффекта от внедрения систем наукастинга). Предполагается организация учебных семинаров по наукастингу и по вопросам интеграции и верификации продукции наукастинга для распространения накопленного опыта по всему миру.

Российская Федерация, также намеревающаяся присоединиться к международному проекту AvRDP, пока не имеет опыта в реализации систем наукастинга, предназначенных для авиации. Однако метеослужба нашей страны получила бесценный опыт в прогнозировании текущей погоды в рамках реализации международного проекта FROST-2014 (Forecast and Research in the Olympic Soch Testbed), инициированного для метеорологического обеспечения Олимпийских и Паралимпийских игр в Сочи. [5]. Одной из целей данного проекта было развитие систем наукастинга зимней

погоды для территории со сложным рельефом. Прежде всего это касается организации учащенных наблюдений с помощью различных систем наблюдения и разработки методов их комплексирования. Кроме того, для района Сочи в период Олимпиады была инсталлирована и внедрена в оперативную практику модель COSMO-Ru1, считающая прогнозы на сетке 1,1 км и использующая при этом модельную орографию с высоким пространственным разрешением (~30 м) [6]. В районе со сложными физико-географическими и орографическими условиями довольно успешно прогнозировалась, среди прочего, видимость.

На сегодняшний день на роль российских участников в проекте AvRDP претендуют международный аэропорт Пулково (Санкт-Петербург, около 130 взлетно-посадочных операций в сутки) и один из международных аэропортов Московского аэроузла (Шереметьево или Домодедово, выполняющие порядка 700–800 ВПО в сутки). Хотя эти аэропорты отличаются многообразием погодных условий, оказывающих влияние на деятельность авиации, в качестве начального предиктанта предполагается выбрать грозовую конвекцию в теплый период года, наблюдения за которой проводятся с использованием радаров, спутников и системы грозопеленгации.

### Список использованных источников

1. ВМО-№ 485. Наставление по глобальной обработке данных и прогнозированию. Том 1. Глобальные аспекты. (Дополнение к IV Техническому регламенту ВМО). Изд. 2010 г.
2. ВМО-№49. Технический регламент. Том II. Метеорологическое обслуживание международной аэронавигации. – 2013. – 189 с.
3. Временные методические указания по использованию информации доплеровского метеорологического локатора ДМРЛ-С в синоптической практике. – М.: Росгидромет, 2014. – 110 с.
4. *Иванова А.Р.* Наклон тропопаузы как характеристика ее деформации // Метеорология и гидрология. – 2011. – № 2. – С. 17–29.
5. *Киктев Д.Б., Астахова Е.Д., Зарипов Р.Б., Муравьев А.В., Смирнов А.В., Цырульников М.Д.* Проект FROST-2014 и метеорологическое обеспечение Олимпиады «Сочи-2014» // Метеорология и гидрология. – 2015. – № 8. – С. 19–30.

6. Шатунова М.В., Ривин Г.С., Розинкина И.А. Прогноз видимости 16–18 февраля 2014 г. в районе проведения Олимпийских игр в Сочи с помощью модели COSMO-Ru1 // *Метеорология и гидрология*. – 2015. – № 8. – С. 45–55.
7. Hagelin S., Auger A., Brovelli P., Dupont O. Nowcasting with the AROME Model: First Results from the High-Resolution AROME Airport // *Weather and Forecasting*. – 2014. – Vol. 29. – P. 773–787.
8. Holzapfel F., Robins R.E. Probabilistic two-phase aircraft wake vortex model: Application and Assesment // *J. Aircraft*. – 2004. – Vol. 41. – P. 1117–1126.
9. ICAO Doc 9750-AN/963. 2013-2028 Global Air Navigation Plan. – 2013.
10. Isaac G.A., Bailey M., Boudala F.S., Burrows W.R., Cober S.G., Crawford R. W., Donaldson N., Gultepe I., Hansen B., Heckman I., Huang L.X., Ling A., Mailhot J., Milbrandt J.A., Reida J., Fournierc M. The Canadian Airport Nowcasting System (CAN-Now) // *Meteorol. Appl.* – 2011. –Vol. 21. – P. 30–49.
11. Keis F. WHITE – Winter hazards in terminal environment: An automated nowcasting system for Munich Airport // *Meteorologische Zeitschrift*. – 2014. – Vol. 24, No. 1. – P. 61–82.
12. Pierce C., Seed A., Ballard S., Simonin D., Zhihong Li. Nowcasting // Doppler radar observations – weather radar, wind profiler, ionospheric radar and other advanced applications. – InTech, 2012. – P. 97–142.
13. Rasmussen R., Dixon M., Hage F., Cole J., Wade C., Tuttle J., McGettigan S., Carty T., Stevenson L. Weather Support to Deicing Decision Making (WSDDM): A Winter Weather Nowcasting System // *BAMS*. – 2001. – Vol. 82, No. 34. – P. 1–17.
14. Robasky F., Clark D. Wind Forecast Algorithm to Support Wake Turbulence Mitigation for Departures (WTMD) // 13th Conference on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology (ARAM), New Orleans, LA, Amer. Meteor. Soc., 2008.
15. Rudack D.E., Ghirardelli J.E. A comparative verification of localized aviation model output statistics program (LAMP) and numerical weather prediction (NWP) model forecasts of ceiling height and visibility // *Weather and Forecasting*. – 2010. – Vol. 25. – P. 1161–1178.
16. Sieglaff J.M., Cronce L.M., Feltz W.F., Bedka K.M., Pavolonis M.J., Heidinger A.K. Nowcasting convective storm initiation using satellite-based box-averaged cloud-top cooling and cloud-type trends // *J. Appl. Meteor. Climatol.* – 2011. – Vol. 50. – P. 110–126.

17. Wagner T.T. Numerical weather and climate prediction. – Cambridge University Press, 2011. – 526 p.

18. Wilson J.F., Feng Y., Chen M., Roberts R.D. Nowcasting Challenges during the Beijing Olympics: successes, failures and implications for future nowcasting systems // Weather and Forecasting. – 2010. – Vol. 25. – P. 1691–1714.

19. [http://ruc.noaa.gov/pdf/NCEP\\_PSR\\_2014\\_HRRR\\_COMBINED\\_lite.pdf](http://ruc.noaa.gov/pdf/NCEP_PSR_2014_HRRR_COMBINED_lite.pdf).

20. <http://www.nwcsaf.org/HD/MainNS.jsp>

21. <https://ams.confex.com/ams/pdfpapers/146998.pdf>

22. [http://www.hko.gov.hk/education/article\\_e.htm?title=ele\\_00448](http://www.hko.gov.hk/education/article_e.htm?title=ele_00448)

23. <http://www.haic.eu/partners/meteo-france-met-fr/>

*Поступила в редакцию 09.03.2016 г.*