



РАБОЧИЙ ДОКУМЕНТ

ДВЕНАДЦАТАЯ АЭРОНАВИГАЦИОННАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

Монреаль, 19–30 ноября 2012 года

Пункт 6 повестки дня. Направление будущей работы

6.1 Планы и методика внедрения

**ПОДХОД К ВНЕДРЕНИЮ ГАРМОНИЗИРОВАННОЙ НА ГЛОБАЛЬНОЙ
ОСНОВЕ GNSS: ПЕРСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ УГРОЗ, СВЯЗАННЫХ С ИОНОСФЕРОЙ
И КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДОЙ**

(Представлено Японией)

АННОТАЦИЯ

"Глобальный аэронавигационный план повышения пропускной способности и эффективности" (ГАНП, Doc 9750) определяет глобальную навигационную спутниковую систему (GNSS) как один из ключевых инструментов, который позволяет осуществлять навигацию, основанную на характеристиках (PBN), выполнять операции на основе траектории полета (ТВО) и использовать другие усовершенствованные методы ОрВД в рамках эволюции технологии GNSS.

Признавая важность надлежащей оценки и принятия мер для решения проблем, связанных с воздействием ионосферы и других аспектов космической погоды, необходимо осуществлять внедрение гармонизированной на глобальной основе GNSS с учетом факторов экономической эффективности и в рамках тесного сотрудничества между государствами или между государствами и отраслью.

В настоящем документе рассматриваются вопросы, связанные с воздействием ионосферы и космической погоды на внедрение и эксплуатацию GNSS в течение предполагаемого периода блочной модернизации авиационной системы (ASBU) в рамках ГАНП, и предлагаются действия в дополнение к мерам, касающимся уязвимости GNSS и предусмотренным в документе WP/21 *"Вопросы внедрения GNSS"*.

Действия: Конференции предлагается согласиться с рекомендацией, изложенной в п. 3.

1. ВВЕДЕНИЕ

1.1 Глобальная навигационная спутниковая система (GNSS) считается одним из ключевых элементов инфраструктуры навигации, позволяющей осуществлять навигацию, основанную на характеристиках (PBN), выполнять операции на основе траектории полета (ТВО) и применять другие усовершенствованные формы организации воздушного движения (ОрВД), которые способствуют повышению пропускной способности и эффективности воздушного транспорта.

1.2 В документе WP/21 рассматриваются технические аспекты уязвимостей GNSS, связанных с явлениями космической погоды, и в первую очередь с аномалиями в ионосфере, и предлагаются действия ИКАО и государств по эффективному внедрению GNSS. Для широкомасштабной реализации будущей GNSS, позволяющей обеспечивать PBN и другие основанные на GNSS усовершенствования ОрВД на субрегиональном или региональном уровне, необходимо эффективно разрешить проблемы уязвимостей, связанных с ионосферной аномалией, в той мере, в какой они препятствуют внедрению и функционированию GNSS.

1.3 Еще один вопрос, представляющий интерес для разработчиков GNSS, связан с космической погодой, о чем говорится в документе WP/21, которая может вызывать ухудшение характеристик систем CNS, а космические излучения могут представлять опасность для людей и авионики. В ряде государств ведутся исследования по более глубокому изучению механизмов различных явлений и их эксплуатационного воздействия на авиацию. В рамках ИКАО вопросы космической погоды рассматриваются в нескольких органах технических экспертов или на региональной основе.

1.4 В свете ожидаемого стабильного процесса внедрения GNSS в течение периода ASBU, рассчитанного на 2013–2028 гг., государствам, поставщикам аэронавигационного обслуживания (ПАНО) и отраслевым структурам следует рассматривать угрозы, создаваемые ионосферой и другими аспектами космической погоды, как проблему долгосрочного характера, влияющую на навигационное обслуживание на основе гармонизированной GNSS в масштабах, выходящих за рамки одного государства или региона.

2. РАССМОТРЕНИЕ ВОПРОСА

2.1 Воздействие ионосферы на GNSS

2.1.1 Для внедрения и надлежащей эксплуатации GNSS в определенном воздушном пространстве в целях удовлетворения соответствующих эксплуатационных потребностей ПАНО и регламентирующие органы должны не только обладать достаточными экспертными возможностями, но и принимать надлежащие меры по устранению воздействия ионосферы на GNSS. Поскольку состояние и параметры ионосферы, оказывающие влияние на работу GNSS, различны в зависимости от региона или, точнее, от магнитной широты, при анализе характеристик ионосферы необходимо учитывать региональные различия (см. добавление А и документ WP/21).

2.1.2 Для сведения тех, кому требуется информация об аспектах, связанных с GNSS, вопросы воздействия ионосферы на GNSS рассматриваются в ИКАО и нашли отражение в таких документах ИКАО, как *"Руководство по глобальной навигационной спутниковой системе (GNSS)" (Doc 9849)* и *"Доклад Группы экспертов по навигационным системам о воздействии ионосферы на авиационные виды применения GNSS (в дальнейшем именуется "Доклад NSP по ионосфере")*. Проводятся и другие исследования по указанным вопросам.

2.2 Рассмотрение аспектов воздействия ионосферы на GNSS в процессе ASBU

2.2.1 Согласно "дорожной карте" технологий в ГАНП и оценкам крупных проектов в области GNSS, содержащимся в документе WP/21, начало внедрения GNSS с использованием многочастотных сигналов и многочисленных спутниковых созвездий (MF-MC) запланировано на вторую половину блока 1 (2018–2022) – первую половину блока 2 (2023–2027). Теоретически GNSS на основе MF-MC может способствовать устранению уязвимостей, связанных с ионосферными аномалиями (см. п. 2 и добавление В документа WP/21).

2.2.2 Тем не менее, достаточно высокие темпы разработки GNSS на основе MF-MC, включая бортовое оборудование, и неопределенность в выборе технических решений на предполагаемый период

вызывают сомнения в выдерживании графика развертывания GNSS на основе MF-MC. Ожидается, что обслуживание GNSS с использованием бортового оборудования GNSS, рассчитанного на одно спутниковое созвездие и одну частоту (SF-SC), которое в настоящее время широко применяется во всем мире, будет продолжаться, и его следует поддерживать до тех пор, пока инфраструктура GNSS на основе MF-MC не будет надлежащим образом оформлена в глобальном контексте.

2.2.3 До тех пор, пока будет продолжаться обслуживание GNSS на основе SF-SC, сохраняется необходимость оценок состояния ионосферы и ее возможного воздействия на GNSS при проектировании и разработке систем GNSS. Даже после того, как появятся системы GNSS на основе MF-MC, характеристики ионосферы должны будут играть важную роль для обеспечения надлежащего смягчения этими системами отрицательного воздействия ионосферы.

2.3 **Региональные и глобальные подходы к смягчению последствий воздействия ионосферы**

2.3.1 Документ WP/21 рекомендует, чтобы ИКАО и государства принимали меры для уменьшения вероятности прерывания сигналов GNSS из-за воздействия ионосферы. Необходимым условием выработки технического решения, которое позволило бы ослабить уязвимость GNSS к воздействию ионосферы, является определение характеристик ионосферы.

2.3.2 Для получения более достоверной картины состояния ионосферы важно иметь достаточный объем данных наблюдений в соответствующем формате по тому региону, в котором планируется внедрить обслуживание GNSS. Для эффективного и действенного определения характеристик ионосферы и получения последовательной и достоверной картины в разрезе государств/РПИ сбор данных и обмен ими необходимо проводить на согласованной основе государствами, входящими в одну и ту же зону по магнитной широте. При условии надлежащего согласования региональные инициативы будут способствовать скоординированному на глобальном уровне процессу определения характеристик ионосферы, который в свою очередь поддерживает внедрение гармонизированной GNSS и основанной на GNSS навигации.

2.3.3 Руководствуясь принципами сотрудничества при рассмотрении таких региональных проблем в области GNSS, Япония работает над определением характеристик аномалий в ионосфере и их воздействия на обслуживание GNSS для аэронавигации, играя ведущую роль в соответствующих региональных мероприятиях. ENRI (Исследовательский институт по электронной навигации) – научно-исследовательская организация в Японии, специализирующаяся на проблемах CNS и OpВД, – уже давно занимается проблемами угрозы, создаваемой ионосферой, активно участвуя в международных и национальных форумах по этому вопросу.

2.3.4 В Азиатско-Тихоокеанском регионе в рамках Подгруппы по связи, навигации и наблюдению и метеорологии (CNS/MET SG) Группы регионального аэронавигационного планирования в регионе Азии и Тихого океана (APANPIRG) создана Целевая группа по изучению ионосферы (ISTF), перед которой поставлена цель наладить механизм определения характеристик ионосферы к 2014 году – общей дате начала применения в регионе (см. добавление В). Это позволит соответствующим государствам избежать дублирования усилий и будет способствовать обеспечению целостности обслуживания GNSS в масштабе государств/РПИ. От этого выиграют как государства, так и ПАНО, пользователи воздушного пространства и изготовители систем GNSS.

2.3.5 Вопросам ионосферы уделяет большое внимание Международная рабочая группа по GBAS (IGWG) – группа, которая на добровольной основе работает над изучением различных аспектов разработки GBAS и состоит из представителей нормативных органов, ПАНО, отраслевых структур и исследовательских заведений. Одна из подгрупп IGWG занимается координацией исследований в области

ионосферы применительно к GBAS. Япония участвует в этой работе, выступая в роли координатора взаимодействия между IGWG и Группой экспертов NSP ИКАО.

2.3.6 Данные об ионосфере, собираемые в период возмущений, особенно важны в тех случаях, когда ПАНО осуществляют эксплуатацию и предоставляют обслуживание GNSS в течение всего такого периода в конкретном воздушном пространстве. Возмущения ионосферы происходят чаще и бывают более сильными в периоды повышенной солнечной активности, которая достигнет своих пиковых значений в ближайшие два года, а потом еще через 11 лет. С учетом замечаний, высказанных в п. 2.2, рекомендуется при разработке и развертывании систем GNSS должным образом учитывать ионосферные возмущения под воздействием солнечной активности, не упуская шанс, который предоставляется раз в десятилетие.

2.3.7 Участие государств в таких мероприятиях по определению характеристик ионосферы позволит им получить практический опыт, необходимый для сертификации и/или утверждения конструкции и эксплуатации GNSS, в том числе в области авионики, основанных на GNSS процедур и полетов воздушных судов в соответствующих государствах.

2.4 Информация о космической погоде для GNSS

2.4.1 Космическую погоду можно определить как *"условия на солнце и состояние солнечного ветра, магнитосферы, ионосферы и термосферы, которые могут влиять на эффективность и надежность космических и наземных технологических систем и угрожать жизни людей или здоровью членов экипажей воздушных судов и пассажиров"* (см. п. 3.9 и добавление А документа WP/21).

2.4.2 Следует отметить, что в последнее время информация о космической погоде используется в сфере обеспечения безопасности и эффективности полетов воздушных судов. В документе *"Концепция международных операций по сбору информации о космической погоде для авиационного применения"* (в дальнейшем именуемом *"Концепция операций по космической погоде"*), который в настоящее время рассматривается Группой экспертов ИКАО по метеорологии, отмечается, что данные о космической погоде можно использовать для смягчения последствий прерывания ВЧ-связи, нарушения обслуживания GNSS, воздействия высокоэнергетического излучения и т. д.

2.4.3 Аномалии в ионосфере, воздействующие на сигналы GNSS, представляют собой одно из явлений космической погоды. Данные мониторинга и прогнозирования состояния ионосферы, которые относятся к категории информации о космической погоде, позволят повысить эффективность и действенность обслуживания GNSS на основе SC-SF при надлежащем использовании таких данных. Информация о космической погоде может быть полезной для целей своевременного предупреждения, прогнозирования или ситуационной осведомленности об отказах системы в будущих навигационных средствах GNSS на основе MC-MF, повышая эффективность и действенность работы GNSS.

2.4.4 В последней версии документа *"Концепция операций по космической погоде"* влияние космической погоды на работу GNSS описано главным образом применительно к средним и высоким магнитным широтам. В районах низких магнитных широт влияние термосферы, представляющей собой фоновую нейтральную атмосферу, на ионосферу оказывает более серьезное воздействие на GNSS, чем в других регионах (см. п. 2.1 доклада NSP по ионосфере). Для получения более конкретных практических результатов, применимых на глобальной основе, воздействие термосферы на ионосферу, которое более ярко выражено в районе низких магнитных широт, необходимо рассматривать с учетом региональных различий, которые должны быть соответствующим образом отражены в *"Концепции операций"*.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

3.1 В п. 2 настоящего документа отмечается эффективность и действенность согласованных подходов и оптимального использования информации о космической погоде, которая в дополнение к данным о целостности и эксплуатационной готовности системы GNSS позволяет эффективно ослабить воздействие ионосферных явлений. С учетом этого, а также принимая во внимание соответствующие рекомендации в документе WP/21, Конференции предлагается принять следующие рекомендации:

Рекомендация 6/х. Информация об ионосфере и космической погоде для внедрения будущей глобальной навигационной спутниковой системы

Конференция предлагает ИКАО:

- а) координировать региональные и глобальные мероприятия по определению характеристик ионосферы для целей согласованного на всемирной основе внедрения гармонизированной глобальной навигационной спутниковой системы;
- б) продолжать работу по рассмотрению аспектов уязвимости глобальной навигационной спутниковой системы (GNSS) к воздействию космической погоды для оказания помощи государствам при внедрении GNSS с учетом перспективных планов развития GNSS, а также прогнозируемых явлений космической погоды; и
- с) изучать вопросы оптимального использования информации о космической погоде для применения на глобальной основе в районах низких и высоких магнитных широт в целях улучшения характеристик глобальной навигационной спутниковой системы в общемировом контексте.

Конференция предлагает государствам:

- а) в тех районах, где требуется или планируется организация воздушного движения на базе глобальной навигационной спутниковой системы (GNSS), рассматривать возможность совместных действий государств или регионов по решению проблем, связанных с ионосферой, включая определение характеристик ионосферы, в целях экономически эффективного, согласованного и приемлемого на региональном уровне внедрения систем GNSS.

APPENDIX A

A NEED FOR IONOSPHERIC THREAT MODEL IN GNSS IMPLEMENTATION

1. Importance of properly addressing ionospheric threat in GNSS implementation

The ionosphere is one of the vulnerabilities, which need to be properly treated when implementing GNSS. (Ref. ANConf/12-WP/21). To achieve safe and available services, the range of variability in the ionospheric effects (or threats) in the airspace where the GNSS-based air navigation service is provided must be clearly defined.

The ionospheric effects depend primarily on the region with respect to the earth's magnetic field and on solar activity. Thus, the ionospheric effects need to be evaluated in a manner suitable for the region where GNSS-based navigation service is given with data covering high solar activity periods.

2. Distribution of ionosphere

Distribution of the ionosphere is subject to the magnetic latitudes determined by the earth's magnetic field rather than the geographic latitude. The magnetic equator where the magnetic latitude is zero and the magnetic field is horizontal deviate from the geographic equator by about $\pm 10^\circ$ (Figure A.1).

The ionosphere can be divided into three regions by the magnetic latitude, namely, Low-latitude ($\pm 20^\circ$), Mid-latitude (20 to about 65°), and High-latitude (above 65°) regions (Figure A.1). Ionospheric dynamics are strongly affected by the magnetic field, and this dynamism makes the ionospheric phenomena vary by region. For example, the aurora-related phenomena is critical in the auroral region, the mid-latitude region is rather moderate except for the period of severe magnetic storms, and the equatorial region is more disturbed due to so called "equatorial anomaly", which translates into the enhancement of ionospheric density around $\pm 15^\circ$ magnetic latitude due to a local sharp depletion of the ionosphere dubbed "depletions" or "bubbles".

It should be noted that when GNSS signals pass the ionosphere region, the GNSS signals received at a particular site is affected. The locations where signals from a particular satellite passes the ionosphere (Ionospheric Pierce Point: IPP) distribute around the receiving sites with a radius of more than 1600 km (assuming the ionospheric altitude at 350 km), when satellites with elevation angles greater than 5° are used. Providers and regulators of GNSS-based air navigation services should consider the ionospheric effects which influence GNSS performance within the said circular area.

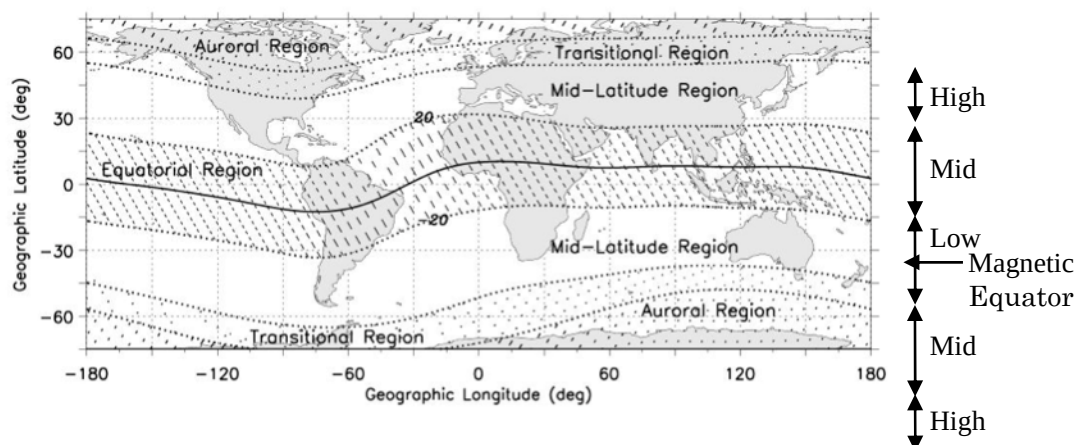


Figure 1. Ionospheric regions (adapted from Figure 3, NSP Iono paper)

3. Solar cycle consideration

The ionospheric activity (density and disturbance) strongly depends on the solar activity in various ways (increase in ionization, increase in the frequency and severity in solar disturbances, increase in thermospheric density and dynamics, etc.). The solar activity has periodicity and repeats the cycle with high and low solar activity periods almost every eleven years. The previous solar cycle reached its bottom in 2009. The current solar cycle is in its increasing phase and is expected to reach its summit around 2013-2014 (Figure A.2). To support GNSS-based services in the long-term, it is obtain to collect ionospheric data during the high solar activity period. Otherwise, it would take another eleven years to obtain data in challenging conditions, which are necessary for GNSS design and engineering to ensure the safety of GNSS-based services as well as the required performance of GNSS.

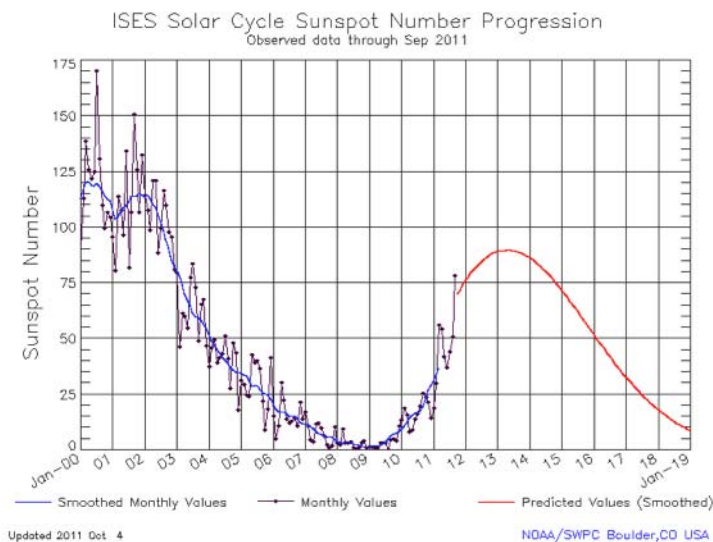


Figure 2. Sun spot number progression as recorded by the U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOOA) (Figure 2, NSP Iono paper)

4. Role of providers and regulators of GNSS-based air navigation services

Defining the range and degree of ionospheric variation which affect GNSS performance in their FIRs (ionospheric threat model) is the role of regulators of GNSS-based air navigation services, whether the model is developed by their own or modeled after other data sources. GNSS-based services must be proved to be compliant with international standards by employing the ionospheric characteristics the regulators define. Thus, it is important for regulators and service providers to correctly understand the ionospheric conditions and to build threat models applicable in their FIRs.

APPENDIX B

IONOSPHERIC STUDY TASK FORCE ACTIVITY IN ASIA/PACIFIC REGION

1. Background

1.1 In the Asia/Pacific Region, it has been widely recognized that ionosphere data collection is indispensable to characterize the low latitude ionosphere more appropriately for implementing GNSS infrastructure in the region. Such awareness was shared not only by air navigation domain, but also by regional multi-national fora such as Asia Pacific Economic Cooperation (APEC).

1.2 In the ICAO framework, the question on how to properly address ionospheric effects on GNSS was table on the 20th Asia/Pacific Air Navigation Planning and Implementing Regional Group meeting (APANPIRG/20) in September 2009. The meeting resolved that the member States cooperate with each other to collect ionosphere data and urged the member States to provide a focal point of contact in their Administration to ICAO for coordinated collection and exchange of the ionosphere data (Ref. APANPIRG/20 Report).

1.3 As a follow-up to the APANPIRG Resolution, its CNS/MET Subgroup meeting in 2010 agreed on conducting a coordinated ionospheric review and measurement campaign in the Asia Pacific region. Recognizing its dedication to R & D on ionospheric threat modeling as well as GNSS, Japan was invited to assume the technical leadership in that regional missions. (Ref. APANPIRG CNS/MET-SG/14 Report and APANPIRG 21 Report).

1.4 Inception of the mission of convening a workshop on the ionosphere data collection, analysis, and sharing in May 2011, which was followed by establishment of a dedicated Task Force, named “Ionospheric Studies Task Force (ISTF)”, of which outlines are explained in the following sections. The 1st meeting of the ISTF (ISTF/1) was held in Tokyo, Japan, in February 2012 resulting in a good kick-off for driving the regional initiative.

2. Purpose and Terms of Reference

2.1 The objectives of ISTF are to facilitate ionospheric data collection and sharing, to study the need for development of Regional Ionospheric Threat Models for GBAS and SBAS, and to develop them if the need is identified.

2.2 The current TOR of ISTF is as follows: Take the responsibility for identification of the available GNSS data source:

- a) make recommendation on sharing scenario for Ionospheric data collected;
- b) make recommendations on selecting ionospheric data sources and sharing scenario for the collected data;
- c) steer process for evaluation of the data analysis;
- d) study the need for development of regional Ionospheric threat models for GBAS and SBAS;
- e) provide guidance on the development of regional Ionospheric threat models for GBAS and SBAS if the need is identified; and

- f) establish rules for use of shared data and the result of study for non-commercial purpose.

3. **Membership**

3.1 The membership of ISTF is open to all the member States of APANPIRG.

3.2 The ISTF/1 meeting was attended by 9 States/Administrations including Australia, Hong Kong China, India, Japan, The Philippines, Republic of Korea, Singapore, Thailand, and United States of America.

3.3 The States which are not participating in the Ionospheric Studies Task Force are expected to share ionospheric data from their national sources with the Task Force to support development of regional ionospheric models for GBAS and SBAS.

4. **Work plan**

4.1 Five specific tasks were identified by ISTF/1 with sequence and corresponding task leads as follows:

- a) identification of data source, GNSS data collection, sharing, distribution and archiving. Identification of data sharing format. (Sequence 1);
- b) identification of analysis methodology and GNSS ionospheric data analysis (Sequence 1);
- c) GNSS total electron content (TEC) gradient data generation (Sequence 2);
- d) GNSS ionospheric scintillation data generation (Sequence 2); and
- e) assessment of need to Regional GBAS and SBAS ionospheric models and development of these models if it is needed (Sequence 3).

4.2 The ISTF plans to have meetings twice in the first year and once from the second year, with a target of delivery of its final product by 2014.

5. **Financial implication**

5.1 The ISTF activities are supported by the voluntary contributions by the participating States, who have already been engaged with great interest in their domestic activities in this subject.

5.2 The cost incurred from data collection and ionospheric threat modeling can be minimized by making the best use of the GNSS networks which have already been operated by national organizations for such purposes of geodetic reference, reference for intelligent transportation system, GNSS augmentation or scientific research. In light of the regional or global nature of GNSS and the entire implementation cost of relatively large-scale projects, team work by those of the common interest can reduce the total cost and time by avoiding duplication of similar work as well as system harmonization in an efficient way. ICAO, being as facilitator or usher, assists them in building inter-regional or global ionospheric threat models, which allow States and ANSPs to enhance PBN as well as GNSS in a globally harmonized fashion.

5.3 The ISTF adopted a sample MOU for assisting States in entering into a data sharing agreement with their national organizations concerned.