

КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Ю.Е. Ефимиади

lotos141996@mail.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Показано, насколько важно развитие космических систем для мониторинга критически важных опасных производственных объектов. Всесторонне проанализированы проблемы мониторинга состояния критически важных производственных объектов

Ключевые слова

Мониторинг, высокообогащенный уран, качественный анализ, атомная энергетика, критически важные производственные объекты

Поступила в редакцию 18.04.2017

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017

На территории нашей страны в настоящее время находится и функционирует множество критически важных опасных производственных объектов, которые подлежат охране от угроз террористического и военного характера. Критически важные объекты — это объекты, нарушение (или прекращение) функционирования которых приводит к потере управления, разрушению инфраструктуры, необратимому негативному изменению (или разрушению) экономики субъекта или административно территориальной единицы, или существенному ухудшению безопасности жизнедеятельности населения, проживающего на этих территориях на длительный период времени [1]. Именно поэтому на сегодняшний день актуальна проблема мониторинга состояния критически важных производственных объектов. Вследствие сокращения вооружений большое количество высокообогащенного урана стало доступно для переработки и использования в атомной энергетике. Так как это вещество имеет широкое применение и становится более доступным, существует возможность использования его террористическими группами, что вызывает серьезные опасения.

При проведении мониторинга критически важных опасных производственных объектов особое внимание необходимо уделять объектам, имеющим в своем производственном цикле высокообогащенный уран (ВОУ) [2, 3]. Производство и использование высокообогащенного урана и плутония изначально опасно потому, что имеется возможность его утечки и в дальнейшем использования террористическим группам или попадание в «нежелательные» страны. Дело в том, что необлученный высокообогащенный уран не требует герметизации и работающий с ним персонал имеет прямой длительный доступ к материалу, кроме того необлученный ВОУ менее радиоактивен, и поэтому его сложнее обнаружить обычными пассивными методами регистрации излучений. В настоящее время из-за сокращения вооружений большое количество ВОУ стало до-

ступно для разбавления и использования в энергетических реакторах, кроме того, значительное количество высокообогащенного урана используется в корабельных реакторах, реакторах для производства ядерных материалов и исследовательских целей.

В целях осуществления строгого контроля производства и распространения высокообогащенного урана и других расщепляющихся материалов необходим мониторинг предприятий и объектов, включающих в себя производственные циклы по обогащению и использованию урана, особенно тех, на которых может производиться высокообогащенный уран. Этот и другие расщепляющиеся элементы можно производить на любых реакторах, но в основном это осуществляется на промышленных реакторах газодиффузионных заводов.

Во время работы реактора и некоторое время после его закрытия существенным фактором является удаление тепла из его активной зоны для предотвращения плавления топлива. Используют различные виды систем охлаждения для рассеивания избыточного тепла в окружающую среду, включая градирни, бассейны, проточную воду из рек или моря.

Объекты с температурой ниже 100 °С излучают, главным образом, на длинах волн более 8 мкм. Изображение этих объектов со спутников получается, поэтому через атмосферное «окно» пропускания в диапазоне 8–14 мкм эти длины волн в 20 раз длиннее видимых, имеющих длину около 0,5 мкм. В системе ограничена дифракция, поэтому требуется апертура в 20 раз больше, чтобы получить аналогичное разрешение.

Точные измерения абсолютной температуры в тепловом инфракрасном диапазоне требуют поправок на прохождение через атмосферу. Впрочем, наиболее полезная информация для целей верификации заключается в отличии температуры представляющего интерес объекта от температуры окружающей среды. Поэтому говорят о температурной чувствительности оптико-электронных средств на космических аппаратах и их возможности разрешить разницу температур.

При работе градирни облако пара обычно видно исходящим из верхней части. Воздух практически полностью насыщается водой при прохождении через увлажненные прокладки в основании градирни, а затем при подъеме через башню он охлаждается. Поэтому на выходе из башни воздух слегка перенасыщен. Поскольку диаметр верхней части башни около десяти метров, легко можно обнаружить даже небольшое облако на спутниковом снимке с разрешением в один метр. С подветренной стороны от градирни воздух смешивается с более холодным воздухом и образует еще более перенасыщенную смесь. На каком расстоянии с подветренной стороны воздушная смесь остается перенасыщенной, зависит от относительной влажности окружающего воздуха.

Тепловые инфракрасные датчики могут обнаружить небольшую разницу температур, но из-за относительно низкого пространственного разрешения наблюдаемые объекты должны либо иметь очень большой размер, либо быть достаточно теплыми, чтобы вызвать появление сигнала, превышающего порог

обнаружения излучения в одном или нескольких пикселях. Хотя тепловые инфракрасные датчики обладают гораздо более низким пространственным разрешением в отличие от датчиков, работающих в очень близком инфракрасном диапазоне, они могут обнаружить теплые облака водяного пара, выходящего из градирни в темное, светлое время суток и даже в снегопад. Облака видны в тепловом инфракрасном диапазоне только там, где сконденсировавшиеся капли водяного пара заметны человеческому глазу. Связано это с тем, что молекулы воды и воздуха улавливаются датчиками только на характерных молекулярных частотах. Обычно это излучение поглощается аналогичными молекулами в лежащей выше более холодной атмосфере до того, как излучение освобождается и может быть обнаружено датчиками спутника.

Видимое облако от градирни, как правило, на несколько градусов теплее окружающего воздуха. Размер покрываемого им участка зависит от влажности окружающего воздуха. Если этот размер сопоставим с мгновенным полем зрения пикселя в тепловом инфракрасном диапазоне и если облако теплее лежащего под ним грунта, относительную температурную разницу легко должны зафиксировать датчики спутников.

Реакторы с проточной системой охлаждения часто имеют отстойные бассейны, где хранится речная вода до прокачки через реактор. Охлаждающими бассейнами называют водные массивы, где охлаждаемая вода передает свое тепло в атмосферу благодаря излучению, конвекции и испарению. Такие бассейны могут использоваться и для аварийного охлаждения, если откажут насосы, подающие воду из реки. Из-за низкой скорости теплопередачи с единицы площади требуется большая площадь поверхности бассейнов. До тех пор, пока охлаждаемая вода выбрасывается в поверхностные воды, участки с повышенной температурой должны обнаруживаться вокруг точки выброса при помощи спутниковых тепловых инфракрасных датчиков. Высохший отстойный бассейн является индикатором того, что реактор заглушен. Это можно обнаружить на снимках с метровым разрешением благодаря изменению отражательной способности участка бассейна.

При производстве обогащенного урана в мире доминируют технологии газовой диффузии и газовых центрифуг. Газовая диффузия является наиболее энергоемким методом обогащения. Газодиффузионные заводы входят в число самых больших крытых зданий в мире, что делает эти объекты удобными для мониторинга с помощью анализа тепловых изображений.

Для проведения мониторинга подобных объектов интересующим физическим параметром является излучаемая энергия. Источником этой энергии являются ступени, нагреватели (используемые для поддержания температуры газа в трубопроводах), источники питания и прочие устройства зданий. На американских газодиффузионных заводах участки основного производства расположены на верхних этажах производственных помещений, поэтому температура потолка в помещениях составляет около 60 °С. Вентиляция здания производится холодным воздухом, засасываемым через фильтры на первом этаже и поступающем на второй этаж через вентиляционные отверстия в полу и отверстия в

основаниях двигателей. Горячий воздух со второго этажа выходит через многочисленные управляемые вентиляционные отверстия в крыше, понижая внутреннюю температуру потолка и наружную температуру крыши.

Крыши производственных зданий покрыты многослойной изоляцией из вара, картона, изолирующих материалов и гравия. Ветер и прочие погодные условия могут ослабить тепловые сигнатуры и усложнить интерпретацию данных. Тепловые датчики на спутнике фактически измеряют энергетическую яркость R . Она определяется как плотность потока излучаемой энергии в заданном спектральном диапазоне и измеряемая спутником. Величина R может быть связана с температурой поверхности крыши при помощи стандартного алгоритма. Важно оценить деятельности внутри здания, исходя из значения температуры крыши. При этом необходимо учитывать, что на температуру крыши могут оказывать влияние факторы, не зависящие от внутренней деятельности:

- излучательная способность. Эта величина должна оставаться постоянной (с точностью до нескольких процентов) от наблюдения к наблюдению или измеряться для каждого наблюдения. На практике режим мониторинга включает начальную характеристику излучательной способности крыши каждого производственного здания, а также периодическую проверку отсутствия ее изменений более, чем на несколько процентов;

- атмосферная турбулентность. Вариации пропускания атмосферы из-за влажности, облачного покрытия, изменений температуры и вариации фонового излучения атмосферы влияют на кажущуюся температуру объектов на поверхности;

- конвекция. Ветер и процессы в вентиляционной системе здания могут изменить температуру поверхности крыши здания. Приблизительная оценка влияния конвекции на теплопередачу показывает, что постоянный однородный ветер со скоростью 6,7 м/с понизит все восстановленные значения температуры крыши примерно на 15 °С.

- солнечный нагрев. Примерно через час после восхода солнечный нагрев начинает заметно влиять на тепловой баланс крыши здания. Солнечный нагрев может изменить разницу температуры объекта и фона, но не скроет полностью влияние внутренней деятельности на температуру крыши.

Поскольку значительная часть тепловой нагрузки на крышу поступает от солнечного нагрева, даже полностью выключенное здание будет иметь температуру существенно выше фона. Это связано с тем, что полые здания не поглощают и не диссипируют тепло так же эффективно, как земля, которая является эффективным тепловым стоком. Для уменьшения влияния солнечного нагрева и подтверждения источника эффекта можно использовать снимки, сделанные ночью или рано утром. Но даже без использования таких снимков увеличение температуры крыши на 5–20 °С, обусловленное только внутренней деятельностью, хорошо видно на спутниковых снимках.

Данный анализ показывает, что тепловые снимки со спутников являются техническим средством для проведения мониторинга критически важных опасных производственных объектов, с целью обнаружения изменений в их произ-

водственных циклах. Однако, для получения более точных данных со спутников и проведения мониторинга широкого спектра объектов, потребуется использование спутниковых систем, имеющих большое пространственное разрешение.

Для мониторинга критически важных опасных производственных объектов целесообразно использовать существующие и перспективные космические аппараты космической системы дистанционного зондирования Земли предназначенной для регулярного наблюдения за земной поверхностью и атмосферой в глобальном, региональном и локальном масштабах с целью решения значительного количества социально-экономических и научных задач мониторинга объектов и природной среды. Предметами исследований и изучения в задачах мониторинга объектов и природной среды являются объекты хозяйственной деятельности с целью их выявления, отождествления и определения геометрических характеристик (конфигурации, относительного распределения, координатной привязки и др.) и физико-химического состояния (температуры, влажности, состава и др.), а также природные процессы и явления.

В силу специфики решаемой задачи для мониторинга состояния критически важных опасных производственных объектов с помощью космических средств дистанционного зондирования Земли могут использоваться только отечественные космические аппараты (КА), в то же время для оценки воздействия на эти объекты угроз природного характера могут использоваться и отечественные, и зарубежные КА. В настоящее время для дистанционного зондирования Земли из космоса используют КА военного назначения, гражданского и двойного.

Для мониторинга состояния критически важных опасных производственных объектов с помощью космических средств могут использоваться все группы КА. Так, проведенный анализ по материалам открытой печати [4] показал, что существующие КА предназначенные для оценки запасов природных ресурсов, их состояния, океанографии и обеспечения рыболовного промысла, метеорологии, создания и поддержания геоинформационных систем, фундаментальных исследований Земли с целью выявления и изучения закономерностей и эволюции глобальных процессов в атмосфере и других земных сферах (литосфере, гидросфере, биосфере, ионосфере и др.) не могут в полной мере обеспечить решение задачи мониторинга состояния критически важных опасных производственных объектов. Необходима информация об этих объектах, которую могут обеспечить лишь КА военного назначения, в первую очередь детальной разведки.

Литература

- [1] ГОСТ Р 53113.1–2008. *Информационная технология. Защита информационных технологий и автоматизированных систем от угроз информационной безопасности, реализуемых с использованием скрытых каналов. Часть 1. Общие положения.* Москва, Стандартинформ, 2009. 12 с.
- [2] Демьянов В.Ф., Малоземов В.Н. *Введение в минимакс.* Наука, 1972. 368 с.
- [3] Шахраманьян М.А. *Новые информационные технологии в задачах обеспечения национальной безопасности России.* Москва, Economic Geology Publishing Co., 2003. 398 p.

[4] Асмус В.В., Милехин О.Е., ред. *Справочник потребителя спутниковой информации*. Санкт-Петербург, Гидрометеиздат, 2002. 168 с.

Ефимиади Юрий Ефимович — студент кафедры «Экология и промышленная безопасность», МГТУ им. Н.Э.Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Р.А. Таранов, канд. техн. наук, доцент кафедры «Экология и промышленная безопасность», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

QUALITATIVE ANALYSIS OF CONDITION MONITORING FOR CRITICAL PRODUCTION FACILITIES

Yu.E. Efimiadi

lotos141996@mail.ru

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

We show how important it is to develop space systems for monitoring hazardous critical production facilities. We provide an exhaustive analysis of the problems related to monitoring the condition of critical production facilities

Keywords

Monitoring, highly enriched uranium, qualitative analysis, nuclear power, critical production facilities

© Bauman Moscow State Technical University, 2017

References

- [1] GOST R 53113.1–2008. Informatsionnaya tekhnologiya. Zashchita informatsionnykh tekhnologiy i avtomatizirovannykh sistem ot ugroz informatsionnoy bezopasnosti, realizuemykh s ispol'zovaniem skrytykh kanalov. Chast' 1. Obshchie polozheniya [State standard R 53113.1–2008 Information technology. Protection of information technologies and automated systems against security threats posed by use of covert channels. Part 1. General principles]. Moscow, Standartinform publ., 2009. 12 p.
- [2] Dem'yanov V.F., Malozemov V.N. Vvedenie v minimaks [Introduction to minimaks]. Nauka publ., 1972. 368 p.
- [3] Shakhraman'yan M.A. Novye informatsionnye tekhnologii v zadachakh obespecheniya natsional'noy bezopasnosti Rossii [New informational technologies in problems of Russian national security protection]. Moscow, Economic Geology Publishing Co. publ., 2003. 398 p.
- [4] Asmus V.V., Milekhin O.E., ed. Spravochnik potrebitelya sputnikovoy informatsii [Satellite information user guide]. Sankt-Peterburg, Gidrometeoizdat publ., 2002. 168 p.

Efimiadi Yu.E. — student, Department of Ecology and Industrial Safety, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — R.A. Taranov, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Ecology and Industrial Safety, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.