

УДК 621.365.5:625.717

DOI: 10.37816/2713-0789-2022-2-2(4)-100-107

## СВЧ-установка для термообработки деформационных швов жестких аэродромных покрытий

А. Б. Недоносков<sup>\*,1</sup>, О. Р. Дорняк<sup>\*\*,\*\*</sup>

*\* ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина»,  
Воронеж, Россия*

*\*\* Воронежский государственный лесотехнический университет  
имени Г. Ф. Морозова, Воронеж, Россия*

---

### Аннотация

Одним из основных видов дефектов аэродромных покрытий является разрушение деформационных швов. Данный дефект часто обусловлен ошибками при строительстве покрытий, когда нарушается технология герметизации швов. Кроме того, интенсивное механическое воздействие пневматиков колес опор шасси самолетов на элементы покрытия, особенно на старто-финишных участках взлетно-посадочной полосы (ВПП), также ведет к нарушению целостности деформационных швов. Известно, что на практике нарушение целостности герметика в деформационных швах происходит намного раньше нормативного срока службы. Применяемая традиционная технология ремонта аэродромных покрытий не предусматривает проведение каких-либо профилактических работ для восстановления герметизирующих свойств швов, включает в себя множество длительных технологических операций и является весьма затратной. Поэтому поиск новых технологий ремонта, направленных на поддержание и восстановление первоначальных эксплуатационных качеств и обеспечение постоянной эксплуатационной готовности летных полей аэродромов, является актуальной задачей. В данной работе рассматривается конструкция СВЧ-устройства для восстановления эксплуатационных свойств деформационных швов и описывается технология его применения.

### Ключевые слова

Аэродромные покрытия, СВЧ-нагрев, герметизация

---

---

<sup>1</sup> Для переписки

Email: alexandr63339@yandex.ru

## Введение

Герметизация деформационных швов битумно-полимерными мастиками предотвращает попадание осадков и последующее разрушение бетонной конструкции за счет образования трещин, формирования сколов.

От качества деформационного шва зависит долговечность бетонного покрытия. Срок службы деформационного шва может составлять от 2 до 5 лет, в зависимости от используемых материалов и технологий.

Как показывает практика эксплуатации аэродромных покрытий, срок их службы часто меньше нормативного. Обычно разрушение покрытия начинается через 2–3 года после ввода аэродрома в эксплуатацию, при этом разрушение деформационных швов происходит ещё раньше. Это, в свою очередь, сказывается на безопасности полетов и боевой готовности аэродрома в целом.

Традиционная технология ремонта аэродромных покрытий, применяемая до настоящего времени, не предусматривает проведение каких-либо профилактических работ для восстановления герметизирующих свойств швов. Производятся следующие операции: очистка шовного паза от старого герметизирующего материала механическим способом; сушка шва при необходимости; грунтование боковых граней железобетонных плит праймером; заливка нового герметизирующего материала в шов [1, 2]. Данная технология влечет за собой большие временные и материальные затраты, поэтому поиск эффективных способов повышения долговечности деформационных швов аэродромных покрытий, увеличение межремонтных сроков их службы, и тем самым поддержание военных аэродромов в постоянной боевой готовности, является актуальной задачей. В данной работе рассматривается

конструкция СВЧ-устройства для восстановления эксплуатационных свойств деформационных швов за счет проведения профилактических работ и технология ее применения.

Практика применения СВЧ технологий в дорожном строительстве и анализ исследований, проведенных в данной области, позволяют рассматривать возможность использования СВЧ энергии в качестве источника нагрева герметизирующего материала деформационных швов аэродромных покрытий с целью восстановления эксплуатационных свойств материала шва, что позволит увеличить межремонтные сроки и, тем самым, получить положительный экономический эффект.

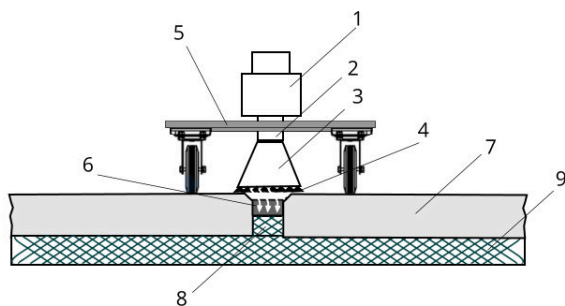
В настоящее время известен широкий ряд разработок в области нагрева диэлектрических материалов СВЧ-энергией применительно к строительству дорожных покрытий [3–5]. Представляется важным результат исследования [6], в котором установлено, что негативное влияние на физико-механические свойства герметика при СВЧ облучении отсутствует. Наоборот, СВЧ-обработка органического вяжущего приводит к повышению качества асфальтобетона вследствие повышения его температуры размягчения, увеличения когезионной прочности и сцепления с минеральными материалами.

В данном случае применение уже известных агрегатов, которые используются в дорожном строительстве, не представляется возможным. Например, для проведения ремонта асфальтовых покрытий применяют автомобильное транспортное средство с СВЧ устройством, установленным под кузовом [7]. Для обработки деформационных швов аэродромных покрытий данное средство не подходит. В частности, это связано с тем, что оно конструктивно не обеспечивает точного воздействия

облучения на область определенной конфигурации в заданном временном интервале.

### Разработанная СВЧ-установка

Разработанная авторами СВЧ-установка представляет собой металлическую опорную раму, изготовленную в виде передвижной платформы с поворотными колесами, позволяющими изменять направление движения вдоль траектории обрабатываемого шва. Для более точного позиционирования рабочего органа над поверхностью шва предусмотрена его регулировка по высоте. Питание магнетрона осуществляется от электрогенератора, установленного на этой же платформе. Передвижение устройства может осуществляться в ручном режиме или автоматически с помощью электропривода ведущих колес [8]. Рупорная антенна устанавливается над поверхностью обрабатываемого деформационного шва и перемещается вдоль него с расчетной скоростью, нагревая герметизирующий материал до рабочей температуры (рисунок 1).



**Рисунок 1** — Структурная схема СВЧ установки для термообработки деформационных швов: 1 — СВЧ генератор с блоком питания; 2 — линия передачи СВЧ энергии; 3 — рупорная антенна (секториальный Н-рупор); 4 — гибкий экранирующий пояс; 5 — опорная передвижная платформа; 6 — герметик; 7 — цементобетонная плита; 8 — песко-цементная смесь; 9 — цементно-песчаное основание.

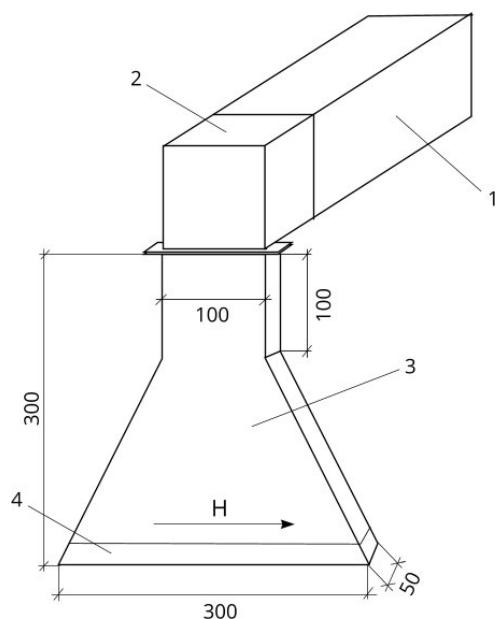
Рупорная антенна представляет собой излучатель в виде отрезка волновода, у

которого размеры поперечного сечения увеличиваются в направлении раскрытия. Раскрыв такой антенны может быть прямоугольной, квадратной или круглой формы. У антенн данного типа отсутствуют недостатки, такие как слабая направленность и плохое согласование со свободным пространством (рисунок 1). Так как волновые размеры излучающей апертуры у рупорной антенны больше, чем у соответствующего волновода, то направленность излучения повышается.

Рупорные антенны при рационально выбранных габаритах позволяют получить ширину главного лепестка диаграммы направленности порядка  $9...12^\circ$ . Плавное увеличение поперечного сечения волновода обеспечивает хорошее согласование со свободным пространством. Достоинствами рупорных антенн являются также простота конструкции и малые потери. Различают Е- и Н-секториальные рупоры (размеры изменяются соответственно только в плоскости векторов Е или Н), пирамидальные (в обеих плоскостях одновременно). Такие рупоры получают из волноводов прямоугольной формы [9]. В качестве антенны был выбран Н-секториальный рупор, у которого увеличивается размер только широкой стенки образующего рупор прямоугольного волновода.

Излучатель установки состоит из магнетрона Samsung OM75P мощностью 1000 Вт на частоте 2450 МГц, соединенный с промышленным прямоугольным СВЧ волноводом VJ2211NS, изготовленным из алюминиевого сплава марки Т6061. Конструктивно СВЧ излучатель и блок питания магнетрона объединены в общий металлический корпус. Рупорная антенна, изготовленная из алюминиевого сплава той же марки, соединена через фланец с СВЧ волноводом и имеет по периметру раскрытия экранирующий пояс, изготовленный из гибкой металлической сетки,

имеющей размер ячейки меньше длины СВЧ волны. В месте соединения волновода и антенны установлена слюдяная пластина для предотвращения попадания на магнетрон пыли и влаги. Все эти элементы в совокупности представляют собой рабочий орган СВЧ-установки для термообработки деформационных швов, смонтированный на передвижной платформе, описание которой приведено выше. Схема рабочего органа СВЧ-установки и размеры рупорной антенны представлены на рисунке 2.



**Рисунок 2** — Схема рабочего органа СВЧ-установки для термообработки деформационного шва: 1 — блок питания; 2 — излучатель СВЧ энергии; 3 — рупорная антенна (секториальный Н-рупор); 4 — экранирующий пояс.

Технологию восстановления герметичности швов с помощью СВЧ-установки можно разделить на следующие операции:

- оценка состояния покрытия элементов летного поля аэродрома (например, ВПП) с обозначением на схеме участков покрытия, имеющих дефекты слабой степени разрушения в швах и маркировкой этих участков непосредственно на поверхности покрытия (при большом количестве таких участков (не менее 2/3 от общей протяженности швов) целесообразно

проводить профилактическую термообработку всех швов));

- установка устройства над обрабатываемым участком покрытия, таким образом, чтобы раскрыв рупорной антенны находился как можно ближе к поверхности шва, а продольная ось шва совмещалась с осью симметрии проекции на плоскость покрытия раскрыва антенны;

- включение устройства и перемещение его над поверхностью деформационного шва с расчетной скоростью;

- контроль температуры обрабатываемого герметика в деформационном шве с помощью измерителя температуры с датчиками из термоэлементов быстрого реагирования (например, ТМ902С с датчиком типа К) и визуальный контроль обработанного участка шва на предмет возможного устранения «микродефектов» герметика, таких как трещины, пустоты, отслоения от боковых граней плиты и т. п.;

- выключение устройства по окончании обработки участка и перемещение на следующий обрабатываемый участок.

Технология применения СВЧ энергии для нагрева деформационных швов аэродромных покрытий требует определения значения скорости перемещения установки. Это значение зависит от теплофизических свойств герметика, режимных параметров СВЧ облучения, геометрических характеристик. В [10-11] предложена и апробирована математическая модель, на основе которой с учетом всего комплекса факторов можно установить эффективную скорость обработки деформационного шва аэродромного покрытия. Эта математическая модель, реализованная численно, является дополнительным инструментарием предложенной технологии профилактического «залечивания» микродефектов в деформационном шве. В [10] получены рациональные режимные параметры процесса СВЧ нагрева при

использовании двух типов промышленных магнетронов отечественного производства (магнетрон М-116-50, который имеет мощность 50 кВт на частоте 915 МГц и магнетрон М-168, который имеет мощность 5 кВт на частоте 2450 МГц), рассчитана скорость перемещения излучателя, при которой СВЧ-нагрев битумного заполнителя осуществляется в заданном температурном диапазоне, который ограничен температурой текучести снизу и температурой вспышки сверху.

### Выводы

1. На ранних этапах нарушения целостности герметизирующего слоя, когда размеры дефектов малы, предложенная технология СВЧ обработки позволяет восстанавливать деформационные швы жестких аэродромных и дорожных покрытий, предотвращая их разрушение.

2. Предложенная схема СВЧ установки обеспечивает целенаправленное воздействие на заданную зону термообработки в необходимом временном интервале.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. РЭА-93. Руководство по эксплуатации аэродромов авиации Вооруженных Сил РФ. М., Воениздат, 1995.
- [2]. ОДМ 218.3.036-2013. Рекомендации по технологии санации трещин и швов в эксплуатируемых дорожных покрытиях. Федеральное дорожное агентство (Росавтодор). Москва, 2013, 63 с.
- [3]. Архангельский Ю. С., Девяткин И. И. Сверхвысокочастотные нагревательные установки для интенсификации технологических процессов. Саратов, 1983, 140 с.
- [4]. Карпенко Ю. В., Нефедов В. Н. СВЧ-разогреватели асфальтобетонных покрытий. *Автомобильные дороги*, 1996, № 5, С. 44–57.
- [5]. Юдина В. О., Захаров В. В., Тригорлый С. В., Архангельский Ю. С. СВЧ термообработка диэлектриков с большими поверхностями в методическом режиме. *Вопросы электротехнологии*, 2019, № 3 (24), С. 6–13.
- [6]. Ядыкина В. В., Акимов А. Е., Гридчин А. М. СВЧ-активация битумов как способ повышения физико-механических и эксплуатационных параметров асфальтобетона. *Строительные материалы*, 2010, № 5, С. 10–12.
- [7]. Патент на полезную модель № 1524848 от 27.05.2015.
- [8]. Патент на полезную модель № 208062 U1 от 01.12.2021.
- [9]. Ахалая Д. А., Малышев И. В., Межунц Т. В. Расчёт Н-секториальной рупорной антенны с разными видами поляризации выходной мощности. Типы рупорных антенн, их конструкция. *Молодой ученый*, 2016, № 11 (115), С. 264–267.
- [10]. Дорняк О. Р., Недоносков А. Б. Способ термообработки деформационного шва аэродромного покрытия с использованием СВЧ-воздействия. *Воздушно-космические силы. Теория и практика*, 2021, № 17, С. 66–75.
- [11]. Дорняк О. Р., Недоносков А. Б. Моделирование СВЧ-нагрева заполнителей деформационного шва. *Сборник научных трудов Международного научно-технического симпозиума, посвященного 110-летию А.Н. Плановского, в рамках Третьего Международного Косыгинского форума «Современные задачи инженерных наук»*, Москва, 2021, С. 103–105.

**Недоносков Александр Борисович** — старший преподаватель кафедры кадровой и организационно-мобилизационной работы, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина» (Российская Федерация, 394064, Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А)

**Дорняк Ольга Роальдовна** — д-р техн. наук, заведующая кафедрой электротехники, теплотехники и гидравлики, Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова (Российская Федерация, 394087, Воронеж, ул. Тимирязева, 8); старший научный сотрудник научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина» (Российская Федерация, 394064, Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А)

## Microwave installation for heat treatment of deformation seams of rigid airfield coatings

A. B. Nedonoskov<sup>\*,1</sup>, O. R. Dornyak<sup>\*\*</sup>

*\* MESCAF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy», Voronezh, Russia*

*\*\* Voronezh state forestry engineering University  
named after G. F. Morozov, Voronezh, Russia*

---

### Abstract

One of the main types of defects of airfield coatings is the destruction of deformation seams. This defect is often caused by errors in the construction of coatings when the technology of sealing joints is violated. In addition, the intense mechanical impact of the pneumatics of the wheels of the landing gear of aircraft on the coating elements, especially on the start-finish sections of the runway (runway), also leads to a violation of the integrity of the deformation seams. It is known that in practice, the violation of the integrity of the sealant in the expansion joints occurs much earlier than the standard service life. The traditional technology used for the repair of airfield coatings does not provide for any preventive maintenance to restore the sealing properties of the seams, includes many long-term technological operations and is very costly. Therefore, the search for new repair technologies aimed at maintaining and restoring the original operational qualities and ensuring the constant operational readiness of airfield is an urgent task. In this paper, the design of a device for restoring the operational properties of deformation joints is considered and the technology of its application is described.

### Keywords

Expansion joint, microwave heating, sealing.

---

---

<sup>1</sup> *Corresponding author*

*Email: alexandr63339@yandex.ru*

## REFERENCES

- [1]. RJeA-93. Rukovodstvo po jekspluatacii ajerodromov aviatsii Vooruzhennyh Sil RF [Manual for the operation of airfields of the Armed Forces of the Russian Federation]. Moscow, Voenizdat Publ., 1995. (In Russ.)
- [2]. ODM 218.3.036-2013. Rekomendacii po tehnologii sanacii treshhin i shvov v jekspluatiruemyh dorozhnyh pokrytijah [Recommendations on the technology of rehabilitation of cracks and seams in the road surfaces in use]. Federal'noe dorozhnoe agentstvo (Rosavtodor). Moscow, 2013, 63 p. (In Russ.)
- [3]. Arhangel'skij Ju. S., Devjatkin I.I. Sverhvysochastotnye nagrevatel'nye ustanovki dlja intensivacii tehnologicheskikh processov [Ultra-high-frequency heating installations for the intensification of technological processes]. Saratov, 1983, 140 p. (In Russ.)
- [4]. Karpenko Ju. V., Nefedov V. N. SVCh-razogrevateli asfal'tobetonyh pokrytij [Microwave heaters for asphalt concrete coatings]. *Avtomobil'nye dorogi* [Highways], 1996, № 5, pp. 44–57. (In Russ.)
- [5]. Judina V. O., Zaharov V. V., Trigorlyj S. V., Arhangel'skij Ju. S. SVCh termoobrabotka dielektrikov s bol'shimi poverhnostjami v metodicheskom rezhime [Microwave heat treatment of dielectrics with large surfaces in a methodical mode]. *Voпрosy jelectrotehnologii* [Electrical engineering issues], 2019, № 3 (24), pp. 6–13. (In Russ.)
- [6]. Jadykina V. V., Akimov A. E., Gridchin A. M. SVCh-aktivacija bitumov kak sposob povyshenija fiziko-mehaničeskikh i jekspluatacionnyh parametrov asfal'tobetonu [Microwave activation of bitumen as a way to increase the physical, mechanical and operational parameters of asphalt concrete]. *Stroitel'nye materialy* [Building materials]. 2010. № 5. pp. 10–12. (In Russ.)
- [7]. Patent na poleznuju model' [Utility model patent] № 1524848 from 27.05.2015. (In Russ.)
- [8]. Patent na poleznuju model' [Utility model patent] № 208062 U1 from 01.12.2021. (In Russ.)
- [9]. Ahalaja D. A., Malyshev I. V., Mezunc T. V. Raschjot N-sektorial'noj rupornoj anteny s raznymi vidami poljarizacii vyhodnoj moshhnosti. Tipy rupornyh anten, ih konstrukcija [Calculation of an H-sector horn antenna with different types of output power polarization. Types of horn antennas, their design]. *Molodoj uchenyj*. [Young scientist]. 2016, № 11 (115), pp. 264–267. (In Russ.)
- [10]. Dornjak O. R., Nedonoskov A. B. Sposob termoobrabotki deformacionnogo shva ajerodromnogo pokrytija s ispol'zovaniem SVCh-vozdejstvija [Method of heat treatment of the deformation seam of the airfield coating using microwave exposure]. *Vozdushno-kosmičeskie sily. Teorija i praktika* [Aerospace forces. Theory and practice], 2021. № 17. pp. 66–75. (In Russ.)
- [11]. Dornjak O. R., Nedonoskov A. B. Modelirovanie SVCh-nagreva zapolnitelej deformacionnogo shva [Modeling of microwave heating of expansion joint fillers]. *Sbornik nauchnyh trudov Mezhdunarodnogo nauchno-tehnicheskogo simpoziuma, posvjashhennogo 110-letiju A.N. Planovskogo, v ramkah Tret'ego Mezhdunarodnogo Kosygin'skogo foruma «Sovremennye zadachi inženernyh nauk»* [Collection of scientific papers of the International Scientific and Technical Symposium dedicated to the 110th anniversary of A. N. Planovsky, within the framework of the Third International Kosygin Forum «Modern problems of Engineering Sciences»]. Moscow, 2021, pp. 103–105. (In Russ.)

**Nedonoskov A. B.** — Senior Lecturer, Department of Personnel and Organizational and Mobilization Work, Military Educational and Scientific Center of the Air Force «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Stary Bolshevikov st., 54A, Voronezh, 394064, Russian Federation).

**Dornyak O. R.** — Dr. Sc. (Eng.), Head of the Department of Electrical Engineering, Heat Engineering and Hydraulics, Voronezh State Forestry University named after G.F. Morozov (Rabfakovskaya st., 34, Ivanovo, 153003, Russian Federation); Senior Researcher at the Research Center (Problems of application, maintenance and control of Aviation of the Air Force) Military Educational and Scientific Center of the Air Force «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Stary Bolshevikov st., 54A, Voronezh, 394064, Russian Federation).

**Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:**

СВЧ-установка для термообработки деформационных швов жестких аэродромных покрытий / А. Б. Недоносков, О. Р. Дорняк // Промышленные процессы и технологии. 2022. Т. 2. № 2(4). С. 100 – 107.

DOI: 10.37816/2713-0789-2022-2-2(4)-100-107

**Please cite this article as:**

Nedonoskov A. B., Dornyak O. R. Microwave installation for heat treatment of deformation seams of rigid airfield coatings. Industrial processes and Technologies, 2022, vol. 2, no. 2(4), pp. 100 – 107

DOI: 10.37816/2713-0789-2022-2-2(4)-100-107