

УДК 628.517(075.8)

Т.Я. Батутина, Д.С. Бондарь

*Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное»  
им. М.К. Янгеля»*

## **ОБЗОР РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ШУМА ПРИ СТАРТЕ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ ПУТЕМ ВПРЫСКА ВОДЫ**

Робота включає огляд інтернет-ресурсів по проблемі гашення шуму з використанням води при старті ракет-носіїв. Подано результати гашення шуму, досягнуті з використанням води стартових площадок різних країн. Проведено аналіз можливих методів використання води для зниження рівня шуму при старті ракет-носіїв.

*Ключові слова:* гашення шуму, надзвуковий струмінь, впорскування води, рівень звукового тиску.

Работа содержит обзор интернет-ресурсов по проблеме шумоподавления с использованием воды при старте ракет-носителей. Приведены результаты шумоподавления, достигнутые с использованием воды на стартовых площадках разных стран. Проведен анализ возможных методов использования воды для снижения уровня шума при старте ракет-носителей.

*Ключевые слова:* шумоподавление, сверхзвуковая струя, впрыск воды, уровень звукового давления.

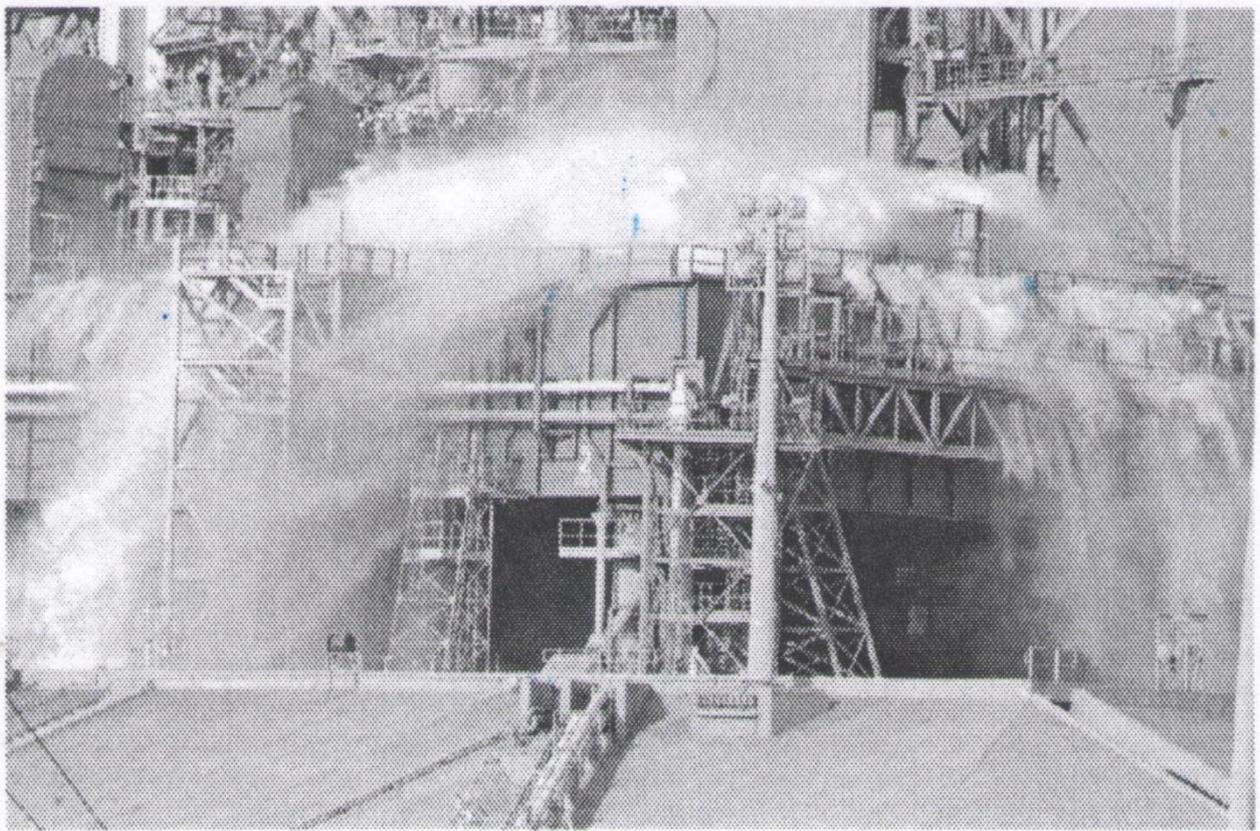
**A paper contains an overview of Internet resources on the topic of sound reduction by water injection during the lift-off of launch vehicles. The results of sound reduction by water injection on the launch pads of different countries are present. An analysis of possible ways to reduce the sound levels by water injection during the lift-off of launch vehicles have been conducted.**

*Keywords:* noise reduction, supersonic jet, water injection, sound pressure level.

**Введение.** Работа посвящена одной из проблем акустической экологии, а именно шуму, возникающему при старте ракет-носителей. Постоянный рост тяги вновь проектируемых двигателей ракет-носителей обостряет проблему излучаемых при старте звуковых полей как вредного во многих аспектах фактора. Высокие уровни шума (160-170 децибелов), излучаемые ракетами-носителями при старте, вызывают серьезную вибрацию в конструкциях ракеты-носителя полезного груза и наземного стартового оборудования и негативно влияют на окружающую среду. Следовательно, потребность уменьшить акустические уровни от истекающей струи является первостепенной. Большое внимание привлекает возможность повлиять на уровень звука путем использования воды при старте. Например, большое количество воды ( $\approx 19 \text{ м}^3/\text{с}$ ) использовалось для подавления шума старта во время запусков

Шаттла [1], [2], что позволило уменьшить шум на 8-12 децибелов.

**Общая часть.** В относительно свежих материалах NASA, касающихся создания нового стартового комплекса, предусматривается использование огромного количества воды при старте. Испытания системы подачи воды проводились в начале 2018 года. Циклопичность системы обусловила появление рекламных материалов с применением термина «невероятная» [3]. Специальная водонапорная система, созданная на стартовом комплексе Кеннеди, способна подать воду с расходом 900000 галлонов воды в минуту. Авторы описания образно характеризуют ситуацию как помещение стартового стола в текущую реку. Интернет содержит несколько видеофильмов об испытании системы в 2018 г. с пустым стартовым столом [4]. Главная задача системы – защита сооружений стартового комплекса от воздействия реактивной струи. На рисунке 1 показан вид стартового стола, заливаемого водой.



**Рис. 1. Вид стартового стола с НАСовской «невероятной» системой подавления звука (NASA's Incredible Sound Suppression System)**

Вода подается в виде капель. Указывается, что за счет поглощения звука пузырьками воздуха в такой двухфазной среде можно снизить звуковую нагрузку в районе головной части со 145 дБ до 142 дБ. Как это удастся сделать при полном выходе реактивной струи из газохода – не ясно.

Гораздо более изученным представляется вопрос об использовании воды для контроля звукового излучения струи путем впрыска воды в неё. Здесь

основные выводы базируются на стендовых экспериментах с неподвижным двигателем. Во всех экспериментальных исследованиях показано, что для достижения эффекта снижения шума впрыск воды должен производиться на уровне среза сопла.

Понимание возможностей влияния на звукоизлучение струи впрыском воды базируется на анализе основных источников генерируемого сверхзвуковой струей звука. Имеется три основных источника звука в струе.

1. Генерация звука при взаимодействии вихревых структур в слое смешения с окружающей средой. Поскольку вихревые структуры имеют большой диапазон изменения характерных пространственных масштабов, генерируемый звук является широкополосным

2. Излучение волн Маха вихрями, движущимися со сверхзвуковой скоростью.

3. Дискретные звуковые волны, генерируемые при взаимодействии струи с элементами конструкции пускового стола. При старте мощных носителей при оценке максимального уровня звука ими можно пренебречь.

Из рассмотренных нами публикаций наиболее четко результаты экспериментальных исследований влияния впрыска воды представлены в [3]. Для горячих сверхзвуковых струй в работе получены следующие оценки снижения уровня шума: ударные волны -6,6 дБ, широкополосный шум смешения -3,4 дБ. Определенные качественные изменения структуры излученного струей звука при впрыске воды выражаются в уменьшении излучения вверх по потоку. При этом, автор указывает, что полученные в мелкомасштабных экспериментах оценки снижения уровней шума уменьшатся при пересчете на натурные объекты.

Несколько иные оценки – до 7 дБ – снижения уровня звука за счет впрыска воды получены в экспериментах французских авторов [5]. Здесь учтена направленность излучения. Шумоподавление порядка 10 децибелов реализовано и для холодных и для горячих струй [6].

**Выводы.** Обобщая данные рассмотренных работ по оценке влияния впрыска воды на излучения звука сверхзвуковыми горячими струями, можно констатировать, что все результаты получены для мелкомасштабных (диаметр сопла порядка нескольких десятков миллиметров) и стационарных экспериментальных установок. Во всех экспериментах наиболее эффективное звукоподавление наблюдается при впрыске воды на уровне среза сопла. При смещении зоны впрыска вниз по струе эффективность такого способа звукоподавления существенно снижается. Это может быть существенным ограничением для практического использования впрыска воды при старте реального ракетного комплекса.

## Библиографические ссылки

1. Dougherty, N.S., and Guest, S.H., A correlation of scale model and flight aeroacoustic data for the Space Shuttle vehicle, AIAA-84-2351, AIAA/NASA 9<sup>th</sup> Aeroacoustics Conference, Williamsburg, Virginia, October 1984.
2. Jones, J.H., Scaling of ignition startup pressure transients in rocket systems as applied to the space shuttle overpressure phenomenon, JANNAF 13<sup>th</sup> Plume Technology Meeting, CPIA-PUB-357, Vol. 1, 1982.
3. Norum, T.D., Reductions in multi-component jet noise by water injection, AIAA-2004-2976, 1(<sup>st</sup>) AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference, Manchester, Great Britain, May 2004.
4. <https://www.youtube.com/watch?v=reE62UvBD8I>
5. Zoppellari, E., and Juve, D., Reduction of hot jet noise by water injection, AIAA-98-2204, 1998.
6. Zoppellari, E., and Juve, D., Reduction of jet noise by water injection, AIAA-97-1622, 1997.

*Надійшла до редколегії 16.12.2019*