

АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ

архитектурных сооружений

AERODYNAMIC INVESTIGATIONS OF BUILDINGS AND STRUCTURES

KRYLOV STATE
RESEARCH
CENTRE



КРЫЛОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
НАУЧНЫЙ ЦЕНТР

Комплекс аэродинамических труб

Мостовые сооружения

Высотные здания

Ландшафтные объекты



В XXI-м веке в городской архитектуре наблюдается всплеск строительства уникальных объектов повышенной сложности: большепролетные мосты, небоскребы, огромные стадионы. Во время разработки проектов подобных сооружений проектные организации сталкиваются с тем, что внешняя среда, природные факторы, рельеф местности и климат диктуют проектантам и строителям свои условия, выполнение которых является строгой необходимостью, а невыполнение грозит катастрофой. Главное правило строительства подобных архитектурных шедевров – учитывать до мелочей все факторы окружающей среды, которые будут воздействовать на сооружения во время их эксплуатации. По оценкам японских специалистов ветровая нагрузка для здания высотой более 200 метров соизмерима с нагрузками от девятибалльного землетрясения. Для получения достоверных результатов об аэродинамических нагрузках во многих странах приняты требования о проведении испытаний макетов зданий в специализированных аэродинамических трубах. Комплекс аэродинамических труб Крыловского научного центра позволяет исследовать аэродинамические нагрузки на высотные здания и протяженные сооружения, такие как мосты.

The urban architecture of XXI century is witnessing a surge of interest in unique and sophisticated buildings and structures like long-span bridges, skyscrapers, and grand sport arenas. Designers dealing with such projects are challenged by environmental and natural factors, as well as climate and landscape features imposing rigorous constraints which, if ignored, may lead to disastrous consequences. The golden rule for construction of such ambitious projects is scrupulous consideration of all environmental effects on buildings in the perspective of their entire lifetime. According to Japanese experts wind loads on buildings higher than 200 m are comparable with the magnitude 9 earthquake shocks. In many countries across the world it is a must to test models of buildings in special purpose wind tunnels for obtaining reliable data on aerodynamic loads. The Krylov State Research Centre is operating a complex of wind tunnels offering a capability to investigate aerodynamic loads on high-rise buildings and long-span structures like bridges.



Wind tunnel complex

Bridge structures

High-rise buildings

High-rise buildings

Ландшафтная аэродинамическая труба Крыловского центра позволяет решать все проблемы современных архитектурных сооружений, связанные с ветровыми нагрузками

The Landscape Wind Tunnel of the Krylov State Research Centre is able to address all issues related to wind loads on modern buildings and structures

В мире существует большое количество самолетных аэродинамических труб для нужд авиакосмической промышленности. Эти трубы характеризуются замкнутым контуром, короткой открытой рабочей частью и мало пригодны для испытаний уникальных архитектурных объектов. Для испытаний большепролетных мостов, небоскребов, стадионов, морских и речных портов, буровых платформ, а также других уникальных сооружений необходимо обеспечить достаточно крупный масштаб исследуемого макета и корректно промоделировать приземный пограничный слой. Это возможно лишь в специальной ландшафтной аэродинамической трубе с закрытой рабочей частью длиной и шириной не менее 10 метров.

Ландшафтная аэродинамическая труба

Особенности установки:

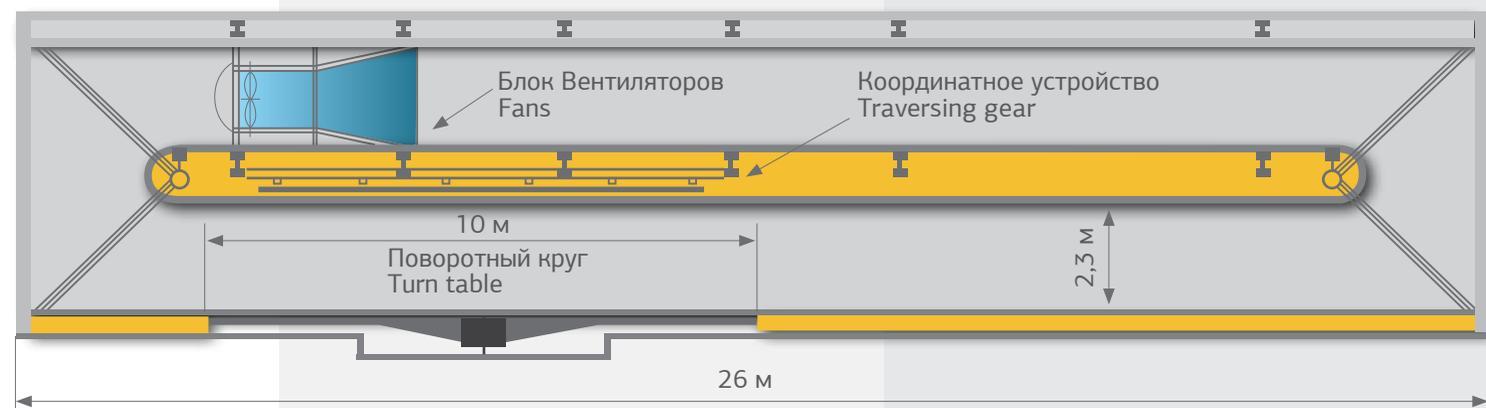
- Возможность моделировать приземный пограничный слой
- Длина рабочего участка – 18 м
- Сечение рабочего участка – прямоугольник 11х2,3 м
- Система климатического контроля параметров потока

There are many so-called aircraft wind tunnels around the world which are intended for aerospace industry applications. Such wind tunnels have a closed circuit design with a short open test section not suitable for experiments with one-off buildings and structures of unique architecture. Long-span bridges, skyscrapers, stadia, as well as sea and river port structures, drilling rigs and other sophisticated buildings have to be tested on models of sufficiently large scale with proper simulation of the ground boundary layer. It is doable only in a special landscape wind tunnel with a closed test section measuring at least 10 meters in length and width. The Landscape Wind Tunnel of the Krylov State Research Centre is able to address all issues related to wind loads on modern buildings and structures.

Landscape Wind Tunnel

Features:

- Modeling of ground boundary layer
- Test section length – 18 m
- Test section shape – rectangular 11 x 2.3 m
- Flow temperature & humidity control



Рабочая часть Ландшафтной аэродинамической трубы

Wind tunnel of Landscape Wind Tunnel

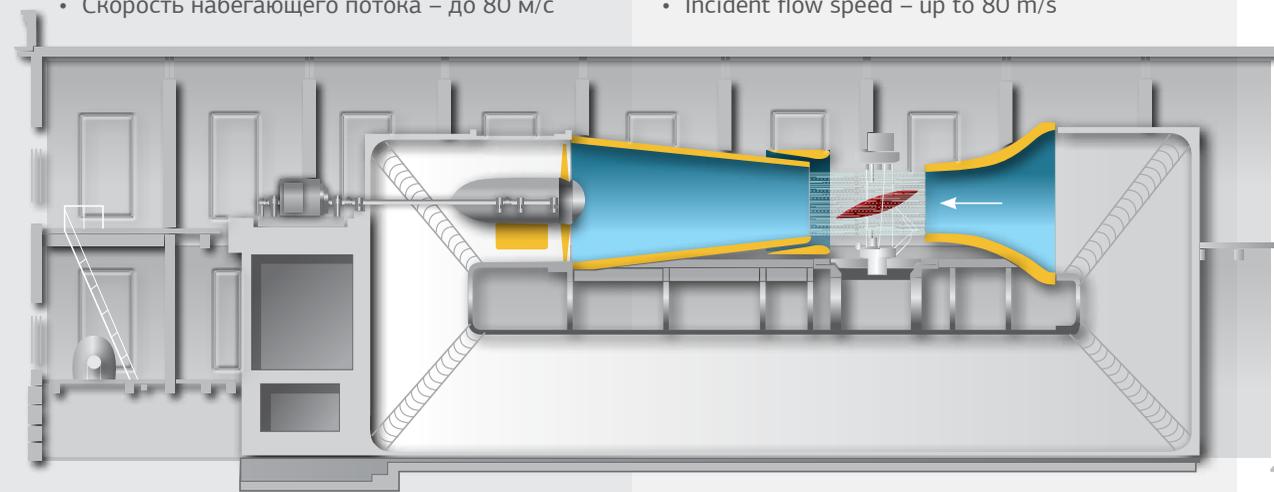


Аэродинамическая труба самолетного типа – это установка, создающая поток воздуха для изучения явлений, сопровождающих обтекание тел. Аэродинамическая труба используется для испытаний макетов высотных зданий и мостов, как секционных, так и на стадии строительства.

- Сечение рабочей части – эллипс 2,5х4 м
- Длина рабочей части – 5 м
- Скорость набегающего потока – до 80 м/с

Krylov's Large Wind Tunnel of aircraft type is designed to generate air flows for investigating the phenomena associated with flows around bodies. This facility is used to test models of high-rise buildings and bridges both section-wise and complete at construction phase.

- Test cross-section – ellipse 2.5 x 4 m
- Test section length – 5 m
- Incident flow speed – up to 80 m/s



Аэродинамическая труба самолетного типа

Wind tunnel of aircraft type

Крыловский центр имеет широкие возможности для разработки аэродинамических гасителей колебаний для каждого конкретного проекта моста

The Krylov Centre is able to develop customized aerodynamic dampers to suit specific bridge design

Колебания волгоградского моста
Volgograd bridge galloping



Разрушение таномского моста
Collapse of Tacoma Narrows Bridge

Научное направление, связанное с вопросами аэродинамики и аэроупругой устойчивости мостовых сооружений, актуализировалось после крушения в 1940 году висячего моста через Такомакский пролив в США. К настоящему времени накоплен большой опыт в проектировании мостовых конструкций, но опасность обрушения мостов под действием ветровой нагрузки существует и по сей день. Одним из примеров может служить мост в Волгограде, который в мае 2010 года раскачивался под действием ветра с амплитудой до 1 метра.

Испытания макетов в аэродинамических трубах позволяют смоделировать все возможные направления и любую скорость ветра, действующего на мост.

В Крыловском центре проводятся следующие аэродинамические исследования мостовых конструкций:

- Определение критических скоростей ветра, при которых возникают опасные колебания натурального моста
- Нахождение амплитуды колебаний пролетного строения, пилонов, вант моста
- Оптимизация аэродинамических характеристик пролетного строения и элементов мостов
- Разработка пассивных и активных аэродинамических гасителей колебаний



The research on bridge aerodynamics and aeroelastic instability was initiated after the Tacoma Narrows Bridge disaster in the USA in 1940. Today in-depth expertise in bridge design has been attained, however the risk of bridge collapse disasters is still to be reckoned with. One of the latest examples is the Volgograd bridge galloping behaviour induced by wind in 2010 when oscillation amplitudes reached 1 m.

Model tests in wind tunnels enable simulation of all wind directions and velocities affecting the bridge under study.

The Krylov Centre performs the following aerodynamic studies of bridge structures:

- Prediction of critical wind speeds giving rise to dangerous full-scale bridge oscillations
- Determination of oscillation amplitudes for bridge superstructures, pylons, and stay cables
- Aerodynamic optimization of bridge superstructures as well as other bridge components
- Development of passive and active aerodynamic dampers

Исследование взаимодействия расположенных рядом автомобильного и железнодорожного мостов

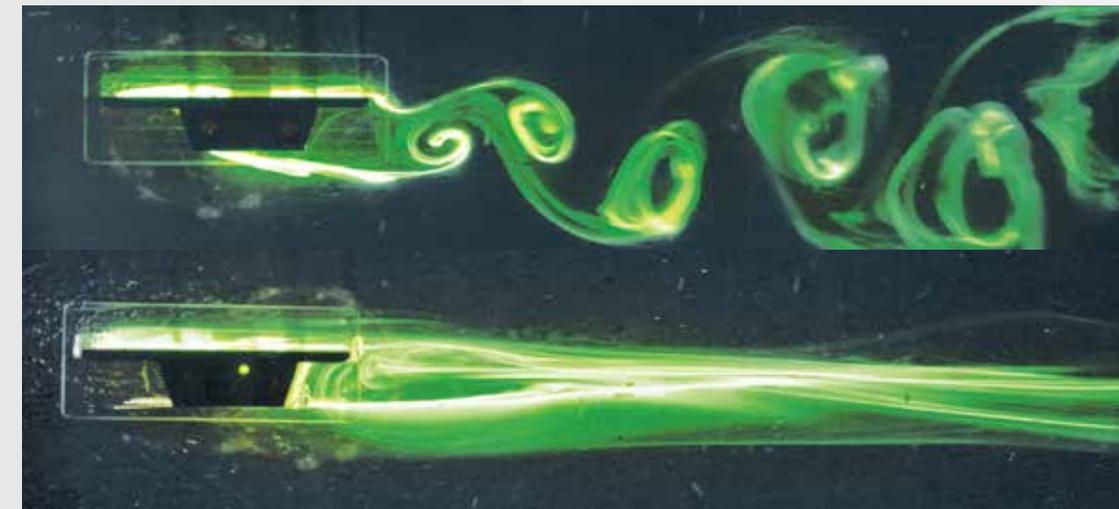
Tests to investigate interaction of closely located automobile and rail bridges

При поперечном обтекании пролетного строения моста воздушным потоком происходит периодический отрыв вихрей. Эти вихри являются причиной возникновения опасных колебаний пролетного строения моста. Резонансных явлений можно избежать путем устранения периодических вихрей в следе за пролетным строением. Подобный эффект будет обеспечен при использовании перечисленных ниже устройств:

- Обтекатели
- Проницаемые балочные конструкции
- Пассивные аэродинамические гасители колебаний

Визуализация вихревого следа до и после установки аэродинамического гасителя колебаний

Visualization of the wake vortex before and after installation of the aerodynamic damper



In case of cross air-flow the bridge superstructures are subject to periodic vortex separations. These vortices may cause dangerous oscillations of bridge superstructures. Resonance phenomena can be avoided by suppressing periodic vortices in wake of superstructures, which can be done by one of the following methods:

- Application of fairings
- Application of permeable beam structures
- Development of passive aerodynamic suppressors

Вантовый мост через пролив Босфор Восточный. Самый протяженный вантовый мост в мире. Длина центрального пролета – 1 104 метра. Проектировщик ЗАО «Институт Гипростроймост. Санкт-Петербург»

Cable bridge across Eastern Bosphorus strait. The world's longest bridge with a 1104-meter-long middle span designed by Stock Company "Institute Giprostroymost Saint-Petersburg"



Упругоподобная модель пилона моста через Босфор Восточный в аэродинамической трубе

Elastically similar model of Eastern Bosphorus bridge pylon in wind tunnel

ВЫСОТНЫЕ ЗДАНИЯ

HIGH-RISE BUILDINGS

На основе полученных данных в Крыловском центре разрабатываются решения по снижению или полному устранению негативного воздействия аэродинамических факторов

The obtained data in Krylov State Research Centre are utilized to work out solutions for mitigating or cancelling negative aerodynamic factors

История знает множество случаев аварий зданий и архитектурных сооружений, произошедших из-за действия аэродинамических и снеговых нагрузок. Чтобы избежать аварийных ситуаций, архитектурные проекты следует подкреплять экспериментальными исследованиями в специализированных аэродинамических трубах.

В аэродинамических трубах Крыловского научного центра за последнее 10 лет было исследовано более 60 макетов жилых домов и административных зданий высотой до 200 метров.

◀ *Визуализация обтекания макета высотного здания при помощи дыма. В данном эксперименте окружающая застройка воспроизведена частично*

Smoke visualization of wind patterns around the high-rise building. Context area is reproduced partially

There is a long record of accidents when buildings and structures collapsed under aerodynamic or snow induced loads. For avoiding such calamities the architectural designs have to be verified by experimental studies in special-purpose wind tunnels.

More than 60 models of tall residential and administrative buildings rising up to 200 m have been tested in the wind tunnels of the Krylov State Research Centre over the last 10 years.

При близком расположении однотипных зданий одно из них будет находиться в аэродинамическом следе другого. В этом случае могут возникнуть неблагоприятные резонансные явления, которые способны привести к разрушению конструкции.

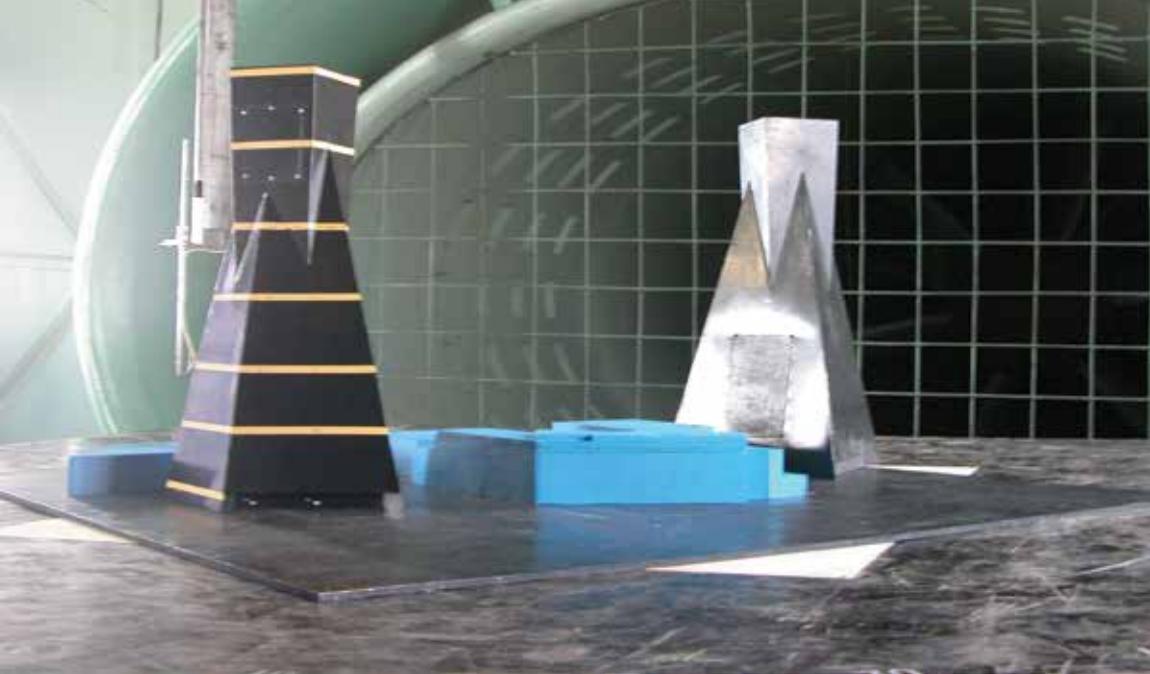
In case of close proximity of same type buildings one of the building is located in the aerodynamic wake of the other with a risk of undesirable resonance phenomena.

▶ *Макет жилого комплекса высотой 153 метра в рабочей части аэродинамической трубы*

Model of a 153-meter-high residential complex in wind-tunnel test section

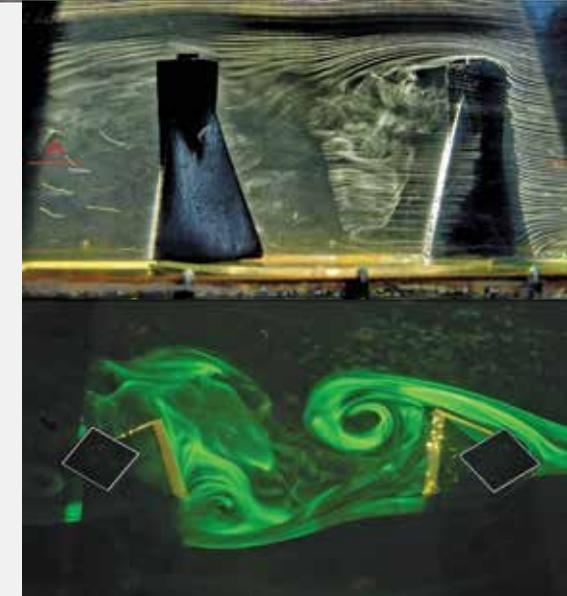
Аэродинамические исследования для обеспечения безопасности высотных зданий

- Подробное моделирование приземного слоя атмосферы и окружающей застройки.
- Определение суммарных и пиковых аэродинамических нагрузок.
- Определение параметров ветровой комфортности в пешеходных зонах.
- Исследование возможности возникновения резонансных колебаний из-за воздействия ветра.
- Выявление благоприятных зон для размещения воздухозаборных и выхлопных устройств.
- Исследование параметров потока в районе расположения вертолетной площадки.
- Моделирование зон скопления снега на крыше сооружения.



Aerodynamic studies to verify the safety of high-rise buildings

- Detailed modeling of ground layer and surrounding neighborhood.
- Evaluation of total and peak aerodynamic loads.
- Appraisal of wind comfort in walk areas.
- Studies to check the risks of resonant vibrations due to wind effects.
- Identification of favourable locations for fitment of air intakes and exhausts.
- Investigation of wind patterns around helipads
- Identification of roof areas prone to snow accumulation



▲ *Визуализация вихревых структур вокруг макета (вид сбоку и сверху)*

Visualization of vortex structures around the model (side and top views)



ЛАНДШАФТНЫЕ ОБЪЕКТЫ

LANDSCAPING

В результате проведенных исследований Крыловским центром выдаются рекомендации по оптимальному расположению причалов для кораблей, проведению погрузочно-разгрузочных операций сыпучих веществ, увеличивающие экономическую и экологическую эффективность проекта

As a result of the research in Krylov State Research Centre recommendations are given regarding the best arrangement of ship berths and aircraft landing strips or optimum handling of loose cargo with significant gains in economic efficiency and environmental friendliness

Отдельным направлением аэродинамических исследований является решение технических и экологических проблем ландшафтных объектов:

- Выбор наиболее рационального места расположения причалов и выработка рекомендаций по проведению погрузочно-разгрузочных операций сыпучих веществ в акваториях морских портов
- Определение ветрового режима, а также установление неблагоприятных направлений ветра на территориях аэропортов, расположенных в холмистой и гористой местности
- Разработка методов снижения объемов уноса сыпучих веществ на протяженных открытых складах
- Исследование структуры потока над взлетно-посадочными полосами аэропортов

Aerodynamic studies for finding the best engineering and ecological landscape solutions present another important field of aerodynamic research:

- Sea harbours: choice of the best locations for ship berthing and recommendations regarding loose cargo handling
- Airports: determination of wave patterns in the airport area, identification of unfavourable wind directions taking into account neighbouring hills or mountains
- Airports: investigation of wind patterns over landing/take-off strips
- Long & open stockyards: working out methods for reducing blow-away of loose cargo

Исследование ветровых режимов в акватории губы Орловки.

Цель – определение наиболее оптимального расположения причалов для газовозов, что приведет к сокращению простоев при погрузочных работах во время сильных ветров.

Визуализация воздушных потоков в акватории при южном направлении ветра

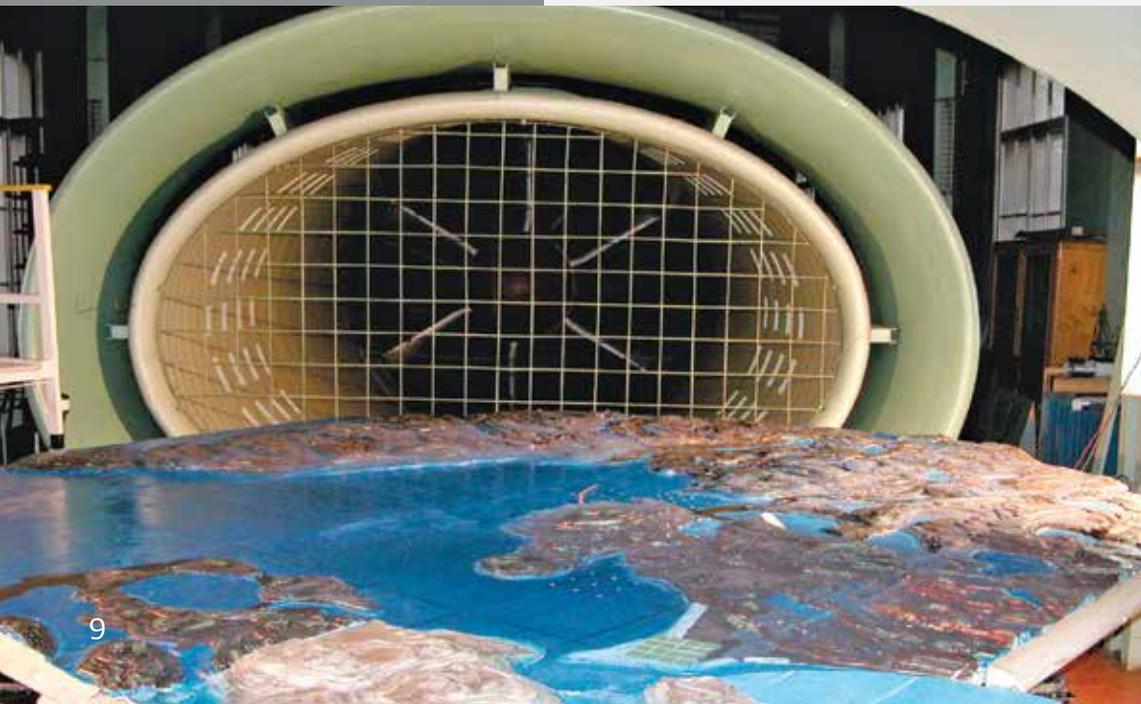
Visualization of harbor wind patterns in case of southern wind directions

Investigation of wind patterns in the Orlovka Bay for choosing optimum location of LNG berths. One of the main criteria is reduction of downtime in cargo handling operations at strong winds.

*Начало эксперимента
Start of the experiment*



*Результат визуализации
Result of visualization*



Модель ландшафта в аэродинамической трубе

Landscape model in wind tunnel

*Акватория губы Орловки
The water area of the port of Orlovka*

Контактная информация:

ФГУП «Крыловский государственный научный центр»
196158, Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 44
E-mail: krylov@krylov.spb.ru www.krylov-center.ru
Тел.: (812) 415-46-07
+7-(906)-251-23-10

Contact points:

Krylov State Research Centre
Moskovskoe shosse 44, St. Petersburg 196158, Russia
E-mail: krylov@krylov.spb.ru www.krylov-center.ru
Tel.: (812) 415-46-07
+7-(906)-251-23-10