

## Modelirovaniye zdaniy dlya prodvizheniya innovatsiy cherez « dolinu smerti » [Modeling of buildings to promote innovation through the "valley of death"]

**Citation for published version (APA):**

Hensen, J. L. M., Loonen, R. C. G. M., Archontiki, M., & Kanellis, M. (2014). Modelirovaniye zdaniy dlya prodvizheniya innovatsiy cherez « dolinu smerti » [Modeling of buildings to promote innovation through the "valley of death"]. *Zdaniâ vysokih tehnologij, 2014*(Autumn), 72-79.

**Document status and date:**

Gepubliceerd: 01/01/2014

**Document Version:**

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

**Please check the document version of this publication:**

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

**General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

[www.tue.nl/taverne](http://www.tue.nl/taverne)

**Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

[openaccess@tue.nl](mailto:openaccess@tue.nl)

providing details and we will investigate your claim.



# МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗДАНИЙ КАК СРЕДСТВО ДЛЯ ПРОДВИЖЕНИЯ ИННОВАЦИЙ ЧЕРЕЗ «ДОЛИНУ СМЕРТИ»

JAN HENSEN, ROEL LOONEN, MARIA ARCHONTIKI, MICHALIS KANELIS, ADELYA KHAYRULLINA

Метафора «долина смерти» характеризует недостаток ресурсов и знаний на начальной стадии проекта, препятствующий продвижению новых идей из этапа разработки к их коммерческой реализации на рынке. Данный период также затрудняет использование новых технологий для оптимизации энергопотребления зданий. Почему же и каким образом моделирование зданий способствует устранению этого пробела?

Ядром большинства стратегических планов по повышению энергоэффективности зданий и городов является замена материалов ограждающих конструкций, к примеру, в проектах Международного энергетического агентства [1] и Европейской комиссии [2]. Ожидается, что прорыв в развитии фасадных систем внесёт значительный вклад в переход к строительству экономически эффективных зданий, стремящихся к нулевому потреблению энергии (nearly zero energy buildings, NZEB), с высокими показателями качества внутренней среды. Этим многообещающим потенциалом в большей степени обладают здания с приспособляющимися фасадными системами [3].

Достижения в области материалов открывают растущий спектр возможностей и инновационных решений для ограждающих конструкций. В частности, применение вакуумной изоляции, материалов с изменяемым фазовым состоянием, комплексных оконных систем или улучшенных покрытий для фасадов. Основная доля этих технологических решений начинает своё существование в небольших проектах в научных лабораториях. Обычно группы учёных способны провести эти концепции от стадии замысла до этапа с низким уровнем технологической готовности (technology readiness level, TRL, рис. 1).

Развитие технологий от стадии замысла до товарного продукта или услуги не всегда осуществляется в последовательности, приведённой на рис. 1 [4]. Это происходит по следующим причинам:

- фундаментальные исследования проводятся в основном при государственном финансировании, а частные инвесторы стремятся участвовать в коммерчески целесообразных проектах;

РИС. 1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ НА РАЗЛИЧНЫХ СТАДИЯХ. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЗАДАЧ (ТРУДНОСТЕЙ), ВОЗНИКАЮЩИХ НА СТАДИЯХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ГОТОВНОСТИ 4–7



- требуются значительные инвестиции, хотя вероятность достижения хороших результатов не так высока, поскольку только некоторые технологические решения увенчаются успехом;
- дефицит средств, позволяющих на стадиях исследования и разработки решений (стадии технологической готовности 1–5) оценить

- проблемы интегрирования компонента в здание. Это создаёт дисбаланс между информационной потребностью и доступностью и затрудняет принятие решений;
- процесс развития технологии требует междисциплинарного подхода. Необходимая комбинация знаний, опыта и квалификации не всегда доступна.

РИС. 2. ДОСТУПНОСТЬ РЕСУРСОВ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ НОВЫХ ПРОДУКТОВ НА РАЗЛИЧНЫХ СТАДИЯХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ГОТОВНОСТИ. ОТРЕЗОК КРИВОЙ В СЕРЕДИНЕ ГРАФИКА ЧАСТО НАЗЫВАЮТ «ДОЛИНОЙ СМЕРТИ»



«Долина смерти» иногда используется в качестве аналогии для описания этого разрыва в инновационном процессе (рис. 2). Разработка методов и средств, помогающих воссоединить два региона, разъединённых этой долиной, остро необходима и в связи с этим включена во множество государственных программ, к примеру в рамочную программу Европейского союза по научно-технологическому и инновационному развитию Horizon-2020.

### Моделирование

За несколько десятилетий математическое моделирование приняло статус вспомогательного инструмента при проектировании зданий и разработке систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Моделирование эксплуатационных характеристик и энергоэффективности зданий (building performance simulation, BPS) успешно используется при про-

ектировании [5], т. к. оно способно учитывать динамические взаимодействия между конфигурацией здания, его конструкциями, системами обслуживания, поведением пользователей и климатической ситуацией. В связи с этим BPS также может способствовать принятию на стадиях исследований и разработки обоснованных решений по применению инновационных компонентов для ограждающих конструкций, хотя эти возможности ещё не вполне изучены [6].

С помощью итеративной оценки нескольких вариантов продукции внедрение моделирования позволяет принять стратегические решения, учитывающие высокопотенциальные направления в процессе разработки. Анализ чувствительности (what if) даёт возможность оценить стабильность эксплуатационных характеристик того или иного инновационного решения при различных сценариях использования и окружающих условиях.

Более того, BPS может выступать в роли испытательной платформы для оценки потенциала ещё не существующих материалов с определённым набором свойств. Эта оценка может производиться на основе важных эксплуатационных показателей, что поможет достичь конкурентного преимущества продукта путём оптимизации его важнейших характеристик и выхода на рынок наиболее рентабельным способом.

### «Переключаемые» окна

Умные системы остекления, такие как электро- или термохромные окна, являются перспективными фасадными технологиями. Такие окна могут регулировать поступление солнечного света и теплоты путём передачи, поглощения и отражения. Благодаря этому появляется возможность улучшить энергопотребление здания и повысить комфортность помещений. Сравнительно высокие инвестиционные затраты, а также технические трудности

### «Переключаемые» окна (Smart Energy Glass)



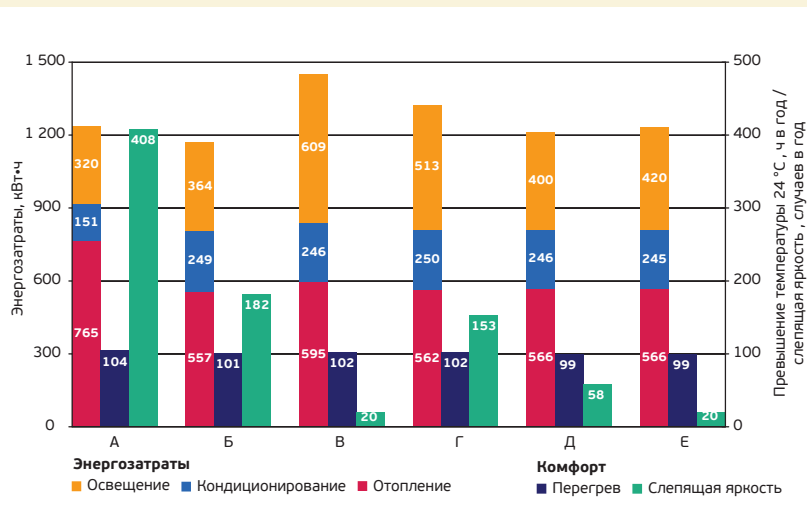
(тонирование окон, медленная скорость переключения, необходимость подвода электричества и др.) являются причинами медленного роста продаж данных окон. Для преодоления этих барьеров в настоящее время разрабатываются новые оконные системы, основанные на альтернативных физических принципах. Одной из таких концепций являются «переключаемые» окна (Smart Energy Glass, SEG) (см. подробнее [www.peerplus.nl](http://www.peerplus.nl)). Технология сочетает в себе жидкокристаллический материал вместе с интегрированными фотоэлектрическими ячейками для создания самообеспечивающегося «переключаемого» окна, способного быстро реагировать на изменения окружающих условий.

В данном случае BPS используется на начальной стадии перехода технологии от опытного образца к коммерческому продукту и концентрируется на проблемах интегрирования умных окон в здания.

Применение BPS началось с ранней стадии технологической готовности (2–3). В то время как технологическое решение было доступно только в виде небольших опытных образцов, BPS использовалось для прогнозирования общего энергопотребления здания и возможности повышения его энергоэффективности, оценки комфорта в помещениях при различных условиях эксплуатации и назначения здания (рис. 3). На основе полученной информации были установлены ориентиры и определены целевые свойства материала, приняты решения о выделении дополнительных ресурсов для проекта.

На более поздней стадии BPS применялось совместно с анализом чувствительности и параметрическим анализом, благодаря которым появилась возможность оценить большое количество возможных вариаций продукта без необходимости изготовления и исследования прототипов. К примеру, было определено,

**РИС. 3. ПОКАЗАТЕЛИ ПЕРВОГО ПОКОЛЕНИЯ «ПЕРЕКЛЮЧАЕМЫХ» ОКОН ПО СРАВНИЕНИЮ С БАЗОВЫМ СЦЕНАРИЕМ (ТРАДИЦИОННЫЙ СТЕКЛОПАКЕТ, КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ – 3,19 Вт/(м<sup>2</sup>·°С))**



- А – окна с традиционным стеклопакетом;
- Б – окна всегда в прозрачном состоянии;
- В – окна всегда в затенённом состоянии;
- Г – окна затеваются при температуре внутреннего воздуха  $\geq 21$  °С;
- Д – окна затеваются при освещённости рабочего места  $\geq 700$  лк;
- Е – окна затеваются при яркости оконной поверхности  $\geq 1\,500$  кд/м<sup>2</sup>

что визуальные показатели и слепящий дискомфорт являются важными эксплуатационными характеристиками, которые необходимо учитывать при производстве «переключаемых» покрытий. Моделирование также показало, что стоит инвестировать в разработку окон, способных приспосабливаться к требованиям в различных ситуациях. Так, иногда необходимо обеспечить высокую светопропускаемость при максимально прозрачной фазе стекла, в то время как в другой ситуации желательна низкая светопропускаемость при максимально затенённой фазе. Способность приспосабливаться в ответ на требования эксплуатации – ключ к успешному продукту.

На финальном этапе было разработано программное приложение, основанное на результатах моделирования (рис. 4). Эта программа доступна в Сети

и способна демонстрировать характеристики ряда стеклопакетов в различных ситуациях. К примеру, можно указать месторасположение здания, ориентацию окон, теплотехнические характеристики ограждающих конструкций и условия эксплуатации помещений. Её удобно использовать при общении с заинтересованными сторонами и потенциальными клиентами, что стимулирует обсуждение и принятие решений.

### Фасадные панели Trespa

Trespa BV ([www.trespa.com/nl](http://www.trespa.com/nl)) является ведущим международным производителем высокоэффективных систем облицовки зданий и фасадных панелей. Компания также располагает собственным исследовательским центром, где активно используют BPS, чтобы разрабатывать инновационные проектные решения.

Ситуация, рассматриваемая в данной статье, касается проблемы сочетания архитектурной гибкости с попыткой достичь снижения энергопотребления на территории с климатом повышенной солнечной радиации. Светоотражающие свойства

играют значительную роль в энергетическом балансе здания. Стёкла с высокими отражающими показателями снижают энергопотребление на кондиционирование воздуха, но слепяще-сверкающий внешний вид не всегда желателен. С примене-

нием особого спектроселективного покрытия компания Trespa стремится к созданию решения, позволяющего снизить энергопотребление и в то же время позволить архитекторам использовать более тёмные цвета в отделке фасадов (рис. 5). Внедрение BPS внесло значительный вклад в процесс разработки продукта – с ранней стадии до маркетинга и распространения информации.

На ранней стадии разработки BPS использовалось для оценки влияния различных параметров на эксплуатационные показатели панелей, что помогло выбрать наиболее выгодные конфигурации фасадной системы с учётом энергопотребления зданий и рентабельности.

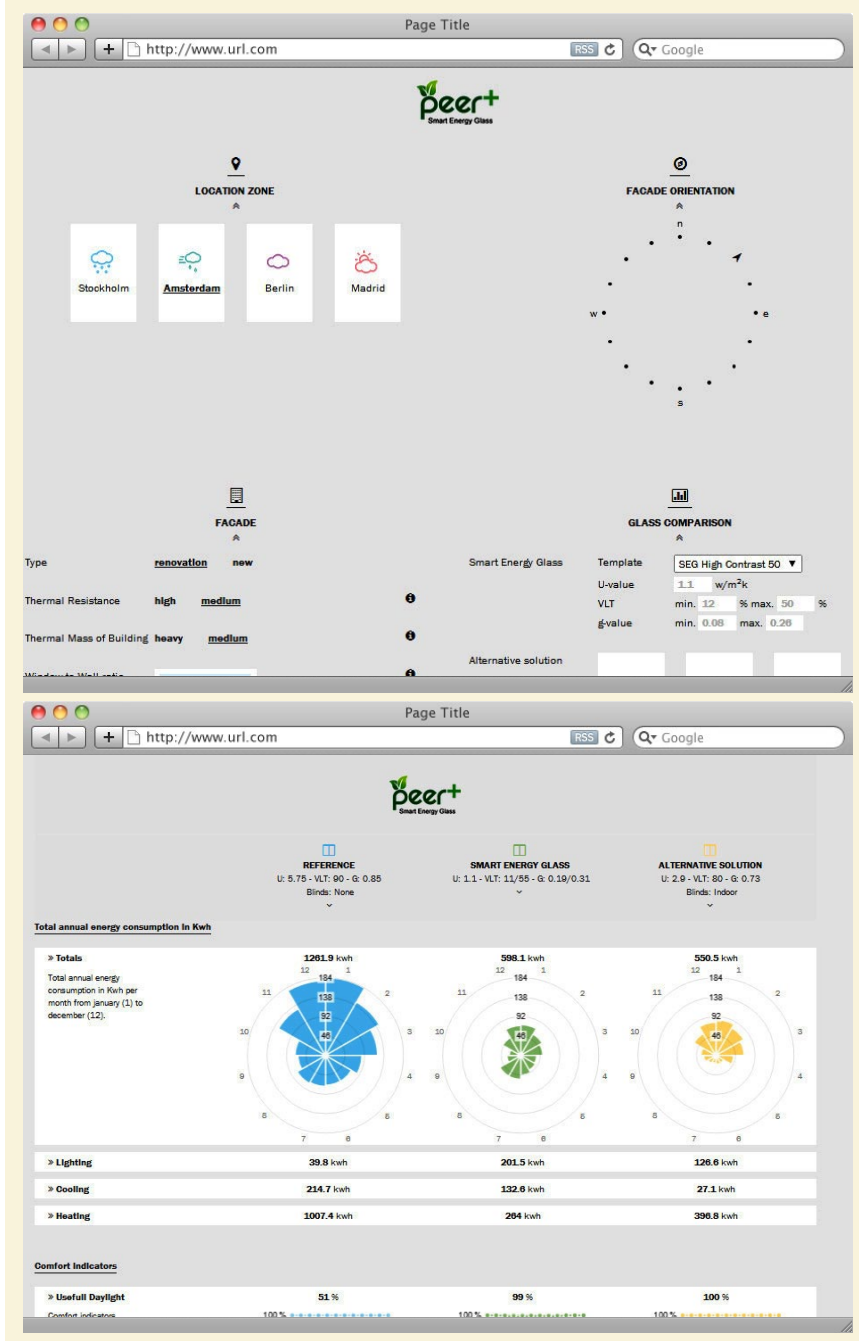
Ближе к коммерческому выпуску продукта BPS также сыграло свою роль. Эксплуатационные характеристики базовой конфигурации здания уже изучены в разных странах, с применением и без применения фасадной системы Trespa. На основе полученных результатов было решено начать продажу панелей на территории Среднего Востока и Северной Африки.

Кроме того, был произведён расчёт снижения энергозатрат при применении панелей. Эти расчёты послужили основой финансовой оценки для принятия решения, при каких обстоятельствах выбор спектроселективного покрытия экономически привлекателен. Затем были оценены характеристики, способствующие получению баллов в схемах сертификации зелёного строительства (LEED, Estidama). Информация, представляющая интерес для потребителя, также включена в рекламный материал.

## Перспективы

Данная статья демонстрирует, как BPS способствует разработке инновационного фасадного решения как для малых развивающихся компаний, так и для крупных концернов. BPS предоставляет дополнительные

**РИС. 4. ГРАФИЧЕСКИЙ ИНТЕРФЕЙС ПРИЛОЖЕНИЯ, ДЕМОНСТРИРУЮЩЕГО ХАРАКТЕРИСТИКИ РЯДА СТЕКЛОПАКЕТОВ В РАЗЛИЧНЫХ СИТУАЦИЯХ**



Международная выставка  
систем отопления, водоснабжения,  
сантехники, кондиционирования, вентиляции  
и оборудования для бассейнов, саун и спа

# aqua THERM NOVOSIBIRSK

17 – 20 февраля 2015  
МВК "Новосибирск Экспоцентр"

[www.aquatherm-novosibirsk.ru](http://www.aquatherm-novosibirsk.ru)

Создатели:



Организаторы:



Специальный проект:



**Jan Hensen (Ян Хенсен)** – профессор Технического университета Эйндховена, Нидерланды, кафедра строительной физики и инженерного оборудования зданий. Профессор Чешского технического университета в Праге, кафедра моделирования эксплуатационных условий. Его исследовательская и преподавательская деятельность основана на моделировании зданий с целью оптимизации их дизайна и проектных решений, повышения энергоэффективности и улучшения эксплуатационных показателей в помещениях. В 2013 году награждён званием почётного члена IBPSA. Хенсен – выдающийся член научных сообществ ASHRAE, REHVA; удостоен многочисленных научных и инженерных наград. Член редколлегии журналов Building and Environment, Energy and Buildings, International Journal of Low-Carbon Technologies, а также основатель и главный редактор Journal of Building Performance Simulation.

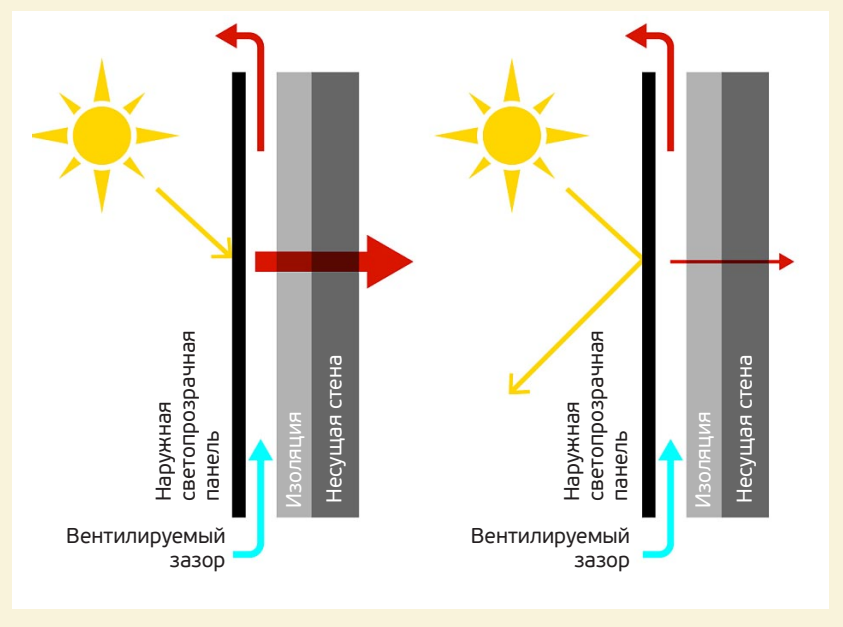
**Roel Loonen (Рул Лунен)** – магистр Технического университета Эйндховена, Нидерланды. В 2010 году окончил с отличием магистратуру и продолжил научную деятельность в качестве PhD-студента. Его проект посвящён методам обратного моделирования климатически адаптируемых строительных оболочек. В 2011 году занял почётное первое место в международном конкурсе среди студентов REHVA International Student Competition. С января 2012 года президент сообщества PhD-студентов на факультете Built Environment.

**María Archontiki (Мария Архонтики)** – инженер-разработчик, Trespa International B.V., Нидерланды.

**Michalis Kanellis (Михалис Канеллис)** – научный сотрудник со степенью PDEng по направлению «здания и города с умной энергетикой», Технический университет Эйндховена, Нидерланды.

**Adelya Khayrullina (Аделя Хайруллина)** – магистр Уфимского государственного нефтяного технического университета (УГНТУ, Башкортостан), инженер-строитель по специальности «промышленное и гражданское строительство». В 2012 году защитила магистерскую диссертацию о потенциале ветровой энергии на территории городской застройки с применением методов математического моделирования CFD. С октября 2012 года студентка Технического университета Эйндховена, Нидерланды, кафедра строительной физики и инженерного оборудования зданий.

РИС. 5. СХЕМА ПРИМЕНЕНИЯ ФАСАДОВ БЕЗ СПЕКТРОСЕЛЕКТИВНОГО (СЛЕВА) И СО СПЕКТРОСЕЛЕКТИВНЫМ ПОКРЫТИЕМ (СПРАВА)



возможности в инновационном процессе моделирования зданий:

- может использоваться при принятии обоснованных решений от ранней стадии исследования и разработки до конечной стадии маркетинга и поддержки продаж;
- способно раскрыть взаимодействия между комплексными показателями, характеризующими здание в целом, а не только его компоненты (к примеру, не только коэффициенты теплопередачи и светопропускания);
- рассчитывает показатели, используемые при оценке жизненного цикла или бизнес-планов;
- позволяет виртуально оценить множество вариаций продукта без существенных затрат.

Авторы статьи утверждают, BPS является полезным средством оценки рисков и неопределённости при разработке инновационного решения, что увеличивает шансы успешного перехода продукта из лаборатории на рынок. BPS вправе достойно за-

нять важную роль в будущих проектах по исследованию и разработке.

## Литература

1. Technology Roadmap – Energy Efficient Building Envelopes / IEA, 2013.
2. Energy-Efficient Buildings – Multi-Annual Roadmap for the Contractual PPP under Horizon 2020 / EC, 2013.
3. Climate Adaptive Building Shells: State-of-the-Art and Future Challenges / R. C. G. M. Loonen et al. // Renew. Sustain. Energy Rev. 2013. Sept. Vol. 25. Pp. 483–493.
4. Shove E. Gaps, Barriers and Conceptual Chasms: Theories of Technology Transfer and Energy in Buildings. 1999. Vol. 26. № 15. Pp. 1105–1112.
5. Hensen J. L. M., Lamberts R. Building Performance Simulation for Design and Operation. L.: Spon Press, 2011.
6. Simulation-Based Support for Product Development of Innovative Building Envelope Components / R. C. G. M. Loonen et al. // Autom. Constr. 2014. Sept. Vol. 45. Pp. 86–95. ●



# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЙ

**Jan L.M. Hensen, Roberto Lamberts**

Под редакцией Яна Хенсена и Роберто Ламбертса



**Д**анная книга создана при поддержке международной ассоциации Building Performance Simulation Association (IBPSA) и представляет собой коллективный труд ведущих экспертов в области строительства и математического моделирования.

В книге на 536 страницах представлен уникальный и всеобъемлющий обзор строительных моделей для полного жизненного цикла здания от проектирования до сноса.

Модели, созданные на основе математического моделирования, дают представление о производительности строительных конструкций в ходе эксплуатации, позволяют спрогнозировать работу систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха в помещениях, эффективность использования возобновляемых источников энергии и оптимизировать процесс автоматизации.

Издание, в первую очередь, предназначено для продвинутых студентов инженерных и строительных специальностей, архитекторов, специалистов в области экологии и машиностроения; а также создателям и разработчикам инженерных систем.

## ОБ АВТОРАХ

**Ян Хенсен** – профессор Технического университета Эйндховена, Нидерланды, кафедра строительной физики и инженерного оборудования зданий.

**Роберто Ламбертс** – профессор Федерального университета Санта-Катарины, Бразилия, кафедра гражданского строительства. В настоящее время является членом Совета директоров IBPSA.

