

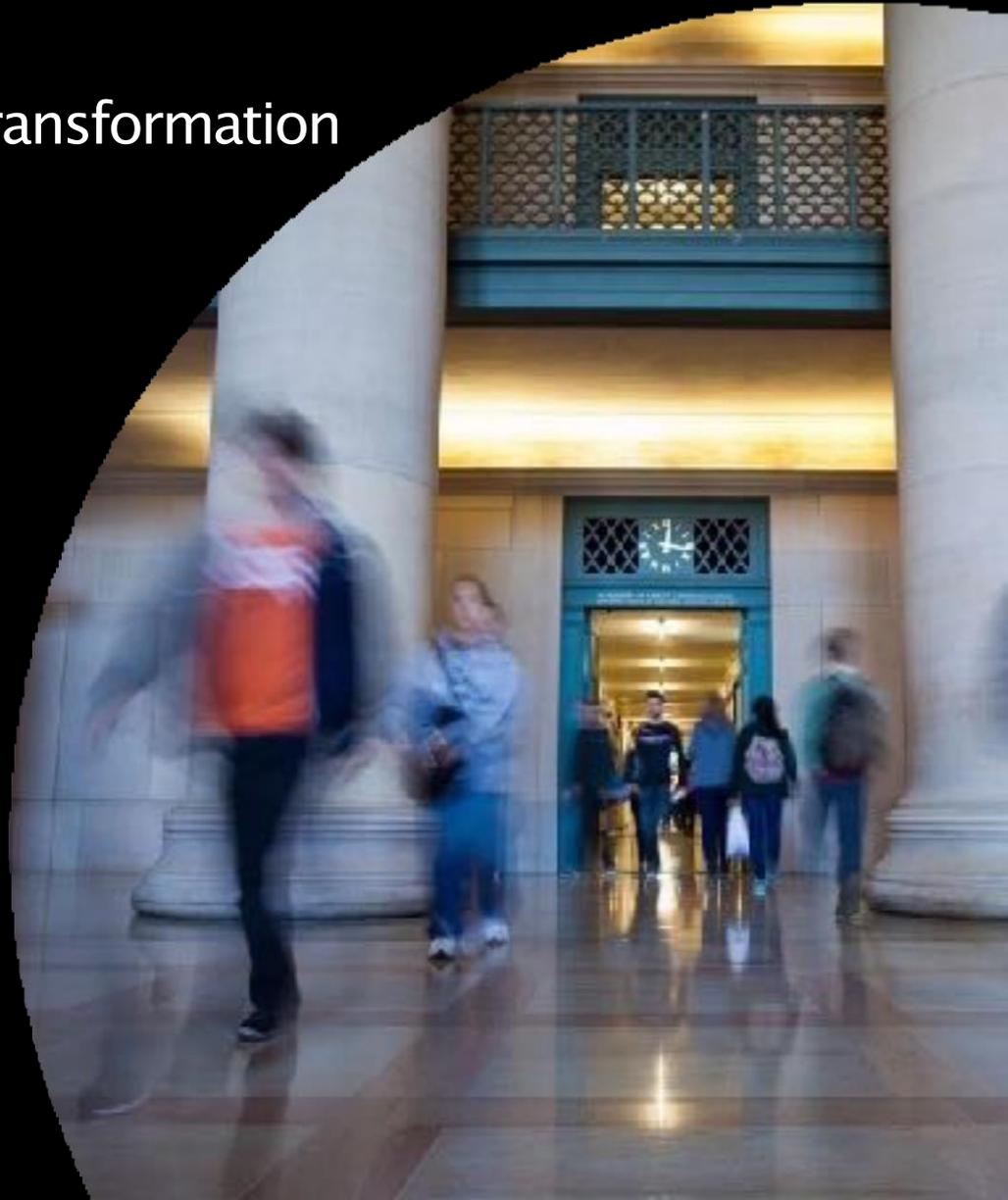
NEET

New Engineering Education Transformation

Ed Crawley

Peko Hosoi

Babi Mitra



NEET

- Reimagining what and how our students learn, better to prepare them to make important contributions in the 21st century
- Strengthening MIT's contribution to engineering education worldwide

20th-Century Machines

- **Cars**
- **Aircraft**
- **Refrigeration**
- **Computers**
- **Electrification**
- **Etc.**

21st-Century Challenges



New Machines and Systems!

Stakeholder Driven Educational Innovation

Old Machines



New Machines



Four NEET Student-Focused Principles

- **New machines and systems**
- **Ways of thinking**
- **Discovering and making**
- **Pedagogies for the digital generation**

Ways of Thinking – MIT Effort



Experimental



Making



Personal



Systems



Computational



Creative



Interpersonal



Analytic



Humanistic



Learning to learn



Discovering



Critical
Metacognitive

**“Scientists Discover the World
that Exists; Engineers Create
the World that Never Was.”**

Theodore von Karman

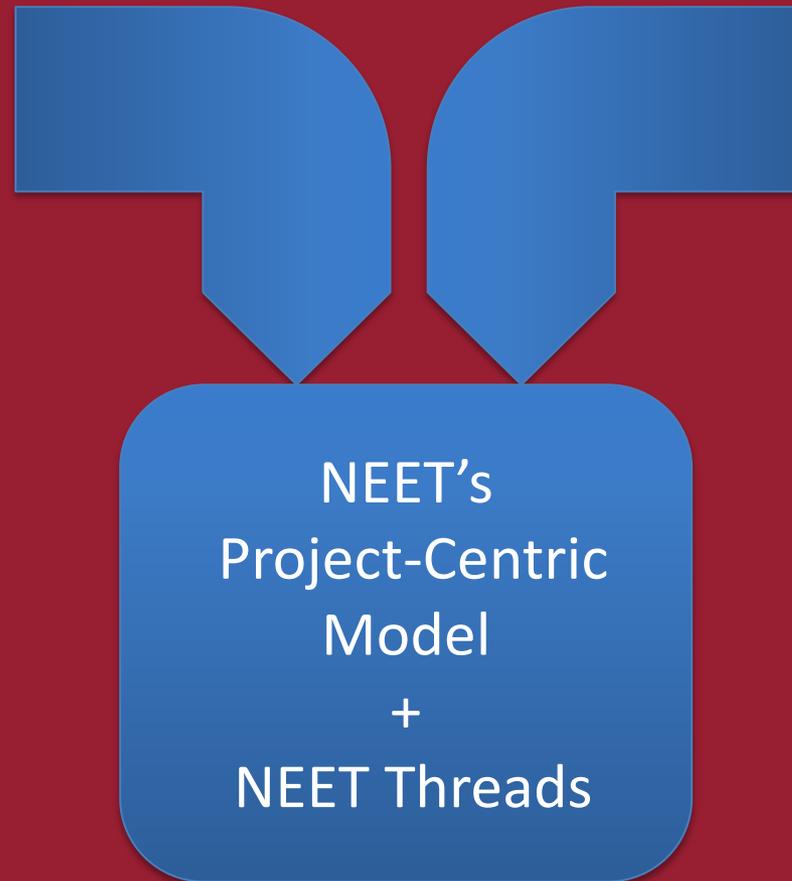
How Digital Natives Learn

- edX
- MOOCs
- Micro Masters
- xPRO
- MIT ili (integrated learning initiative)
- MIT OpenCourseWare

Evolution of Ideas

Evidence from stakeholders

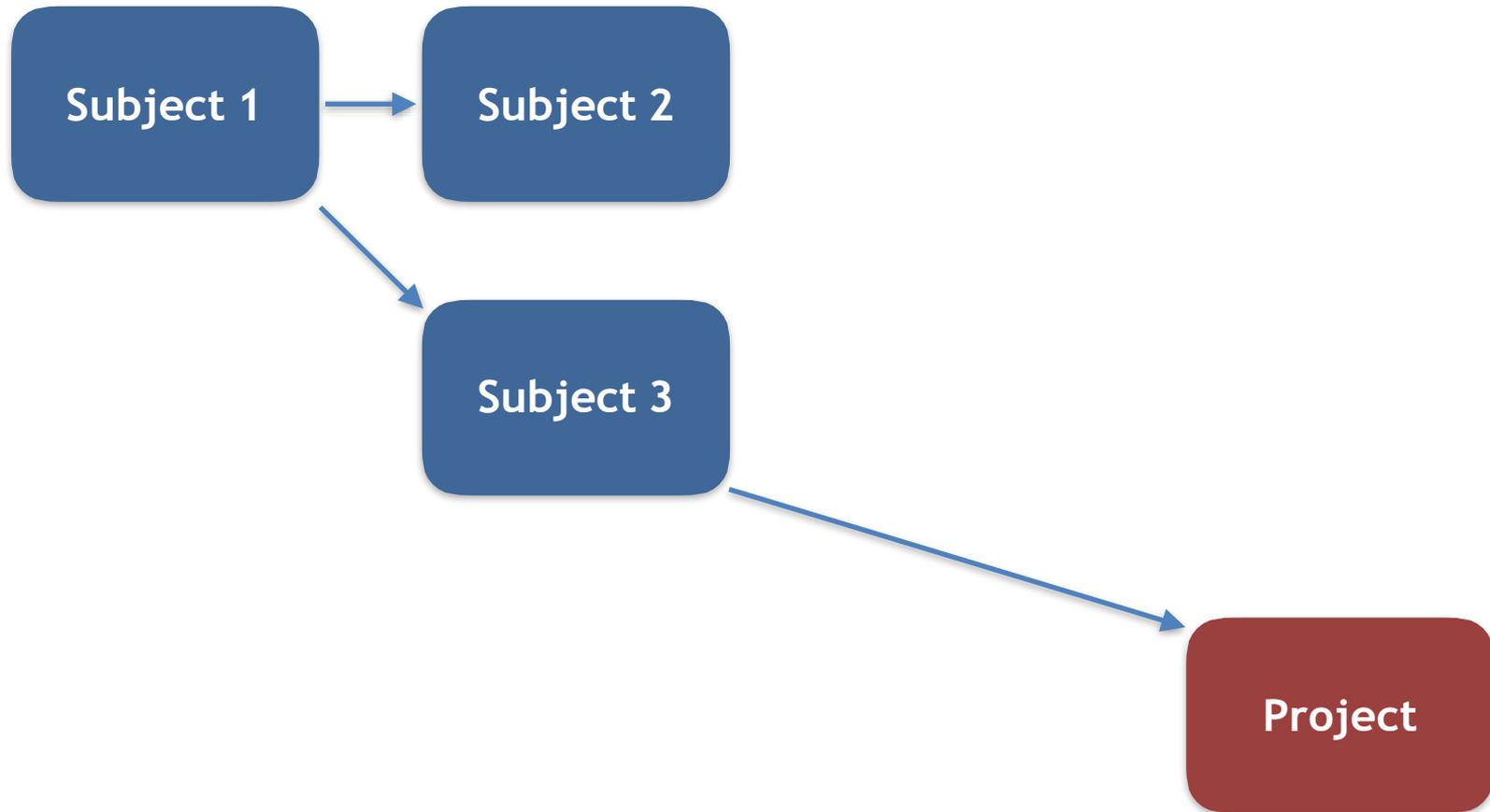
- Thought leaders
- Benchmarking
- Industry
- Alumni
- Students
- Faculty



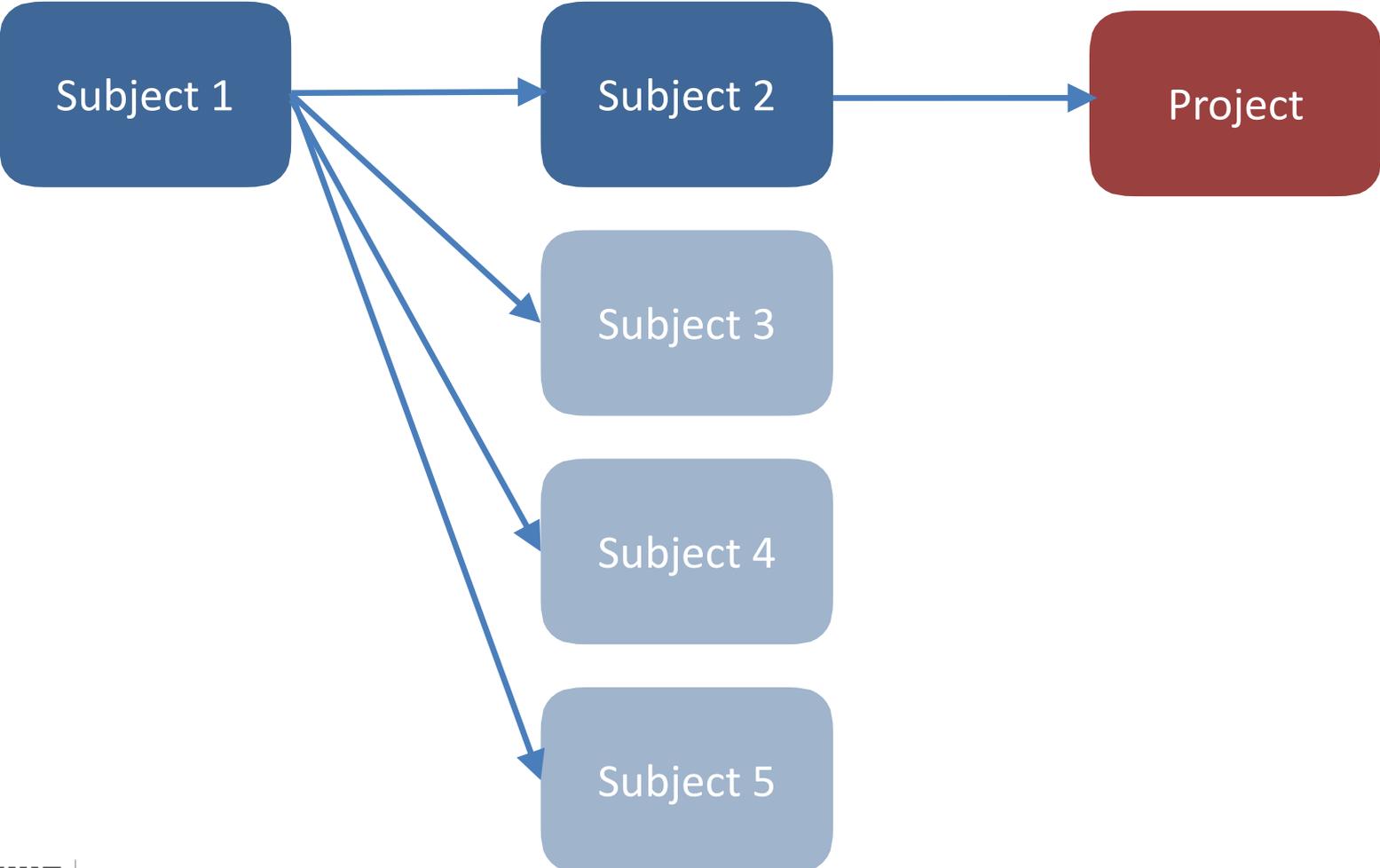
Principles

- New machines and systems
- Makers and discoverers
- Pedagogy to support how digital natives learn
- NEET Ways of thinking

Traditional Subject-Centric Curriculum

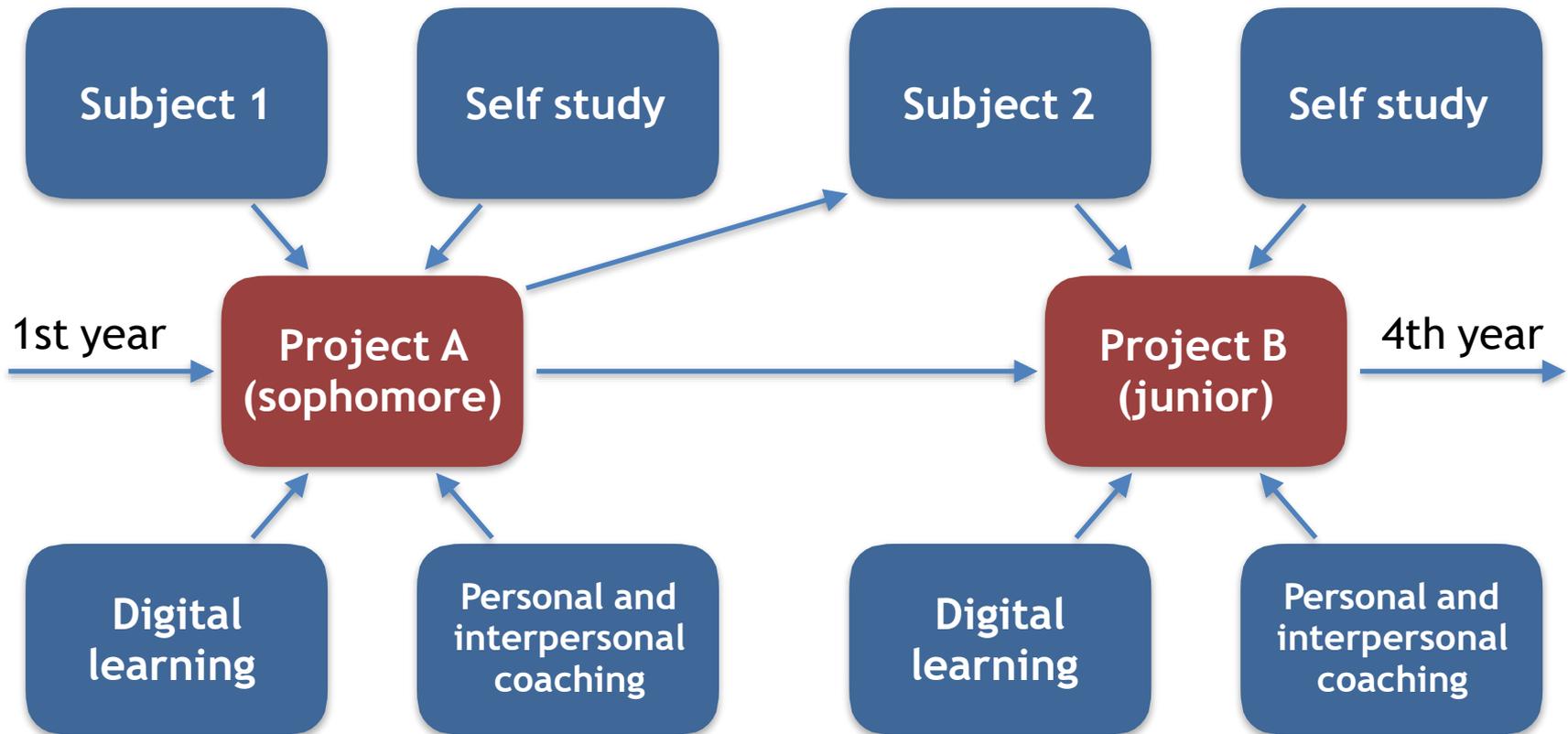


Flexible Subject-Centric Curricular Construct



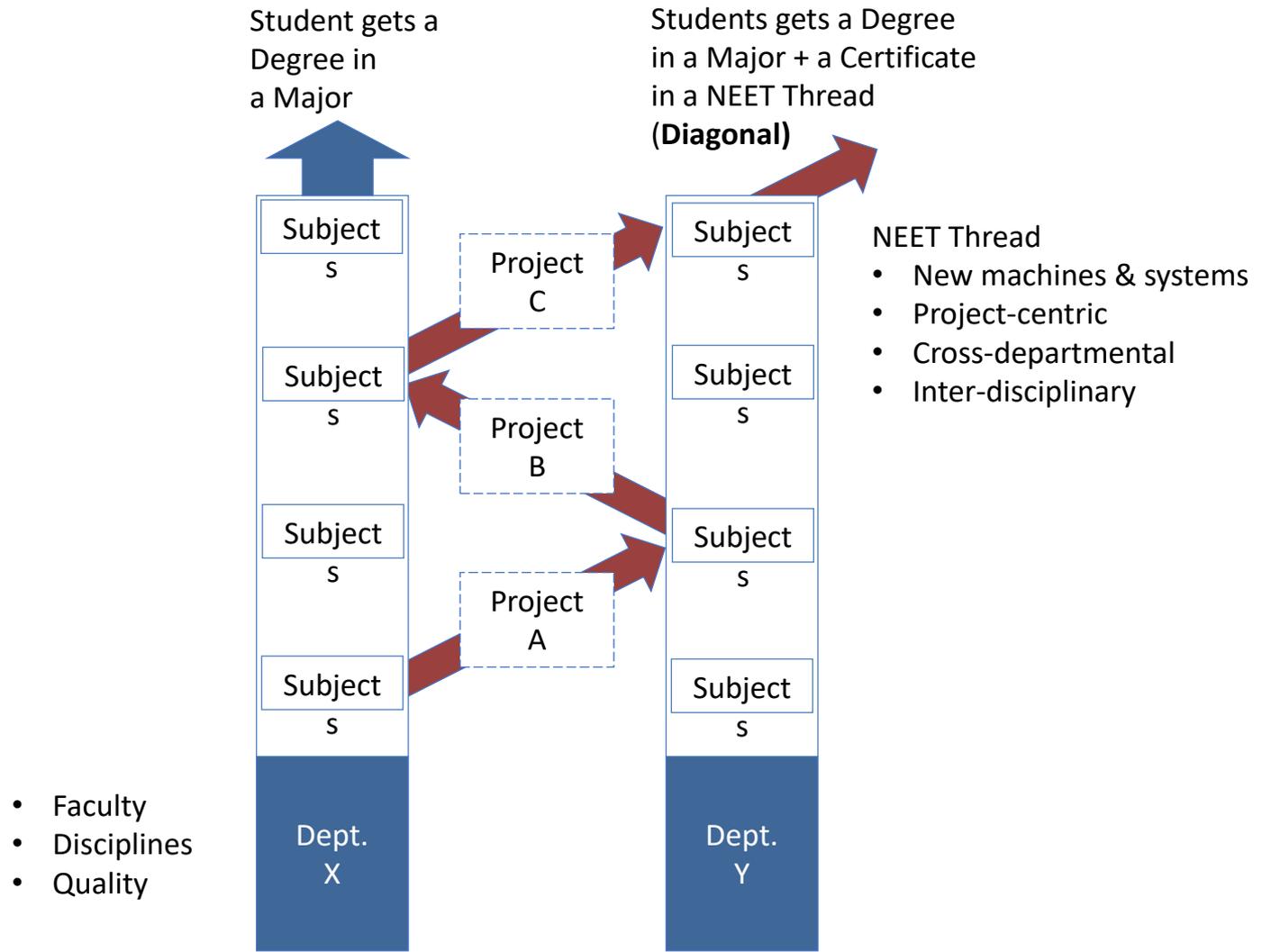
Cross-Departmental Projects

2nd, 3rd and 4th Years



New baskets of fundamentals taken from different departments combined with innovation and entrepreneurship

Cross-Departmental NEET Threads



Threads in Fall 2019

- **Autonomous Machines**
 - Aero/Astro + Mech Eng + EECS
- **Living Machines**
 - Biological Eng + Chem Eng + Mech Eng + EECS + technical degrees
- **Advanced Materials Machines**
 - Mat Sc & Eng + Mech Eng
- **Renewable Energy Machines**
 - All majors including Nuclear Sc & Eng + Civil/Environ Eng + Mech Eng
- **Digital Cities**
 - All majors including Urban Studies and Computer Science

What Will MIT Students Get in NEET?

an
Undergraduate degree in their major

+

Certificate in the Thread

from the School of Engineering

in
the usual four years

131 Students Have Signed Up for NEET

Fall 2018	92	~ 12%
Fall 2017	39	~ 5%

Four NEET Threads will be offered in (% of the engineers) Fall 2019:

- Autonomous Machines
- Living Machines
- Advanced Materials Machines
- Renewable Energy Machines
- Digital Cities



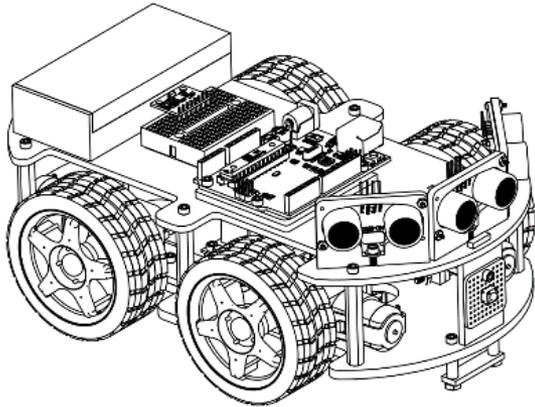
Autonomous Machines

- Students from Mechanical Engineering, Electrical Engineering and Computer Science, and Aero/Astro
- Professors Jon How, Sertac Karaman (leads) + Sangbae Kim, Tomas Lozano-Perez
- 2nd Year - diff eqs, mechanics, signals and systems, programming, probability, robotics project, NEET seminar
- 2nd Year project – Robot for autonomous navigation and manipulation
- 3rd Year project – Self-driving race car
- 4th Year project – Swarm of autonomous systems TBC

NEET Autonomous Machines --- Projects

Objective: Learn how to design and deploy mechanical systems, software, and autonomy algorithms for real-world robots.

Sophomore Fall Hands-on Seminar (16.301)



Program a Smart Car for Autonomous Driving

Sophomore Spring Project (2.S007: Design and Manufacturing I)



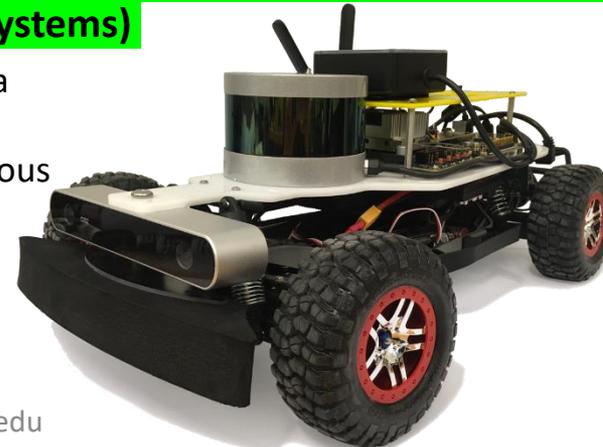
Design and Build a Robot for Autonomous Navigation and Manipulation

Junior Fall Hands-on Seminar (16.S688)

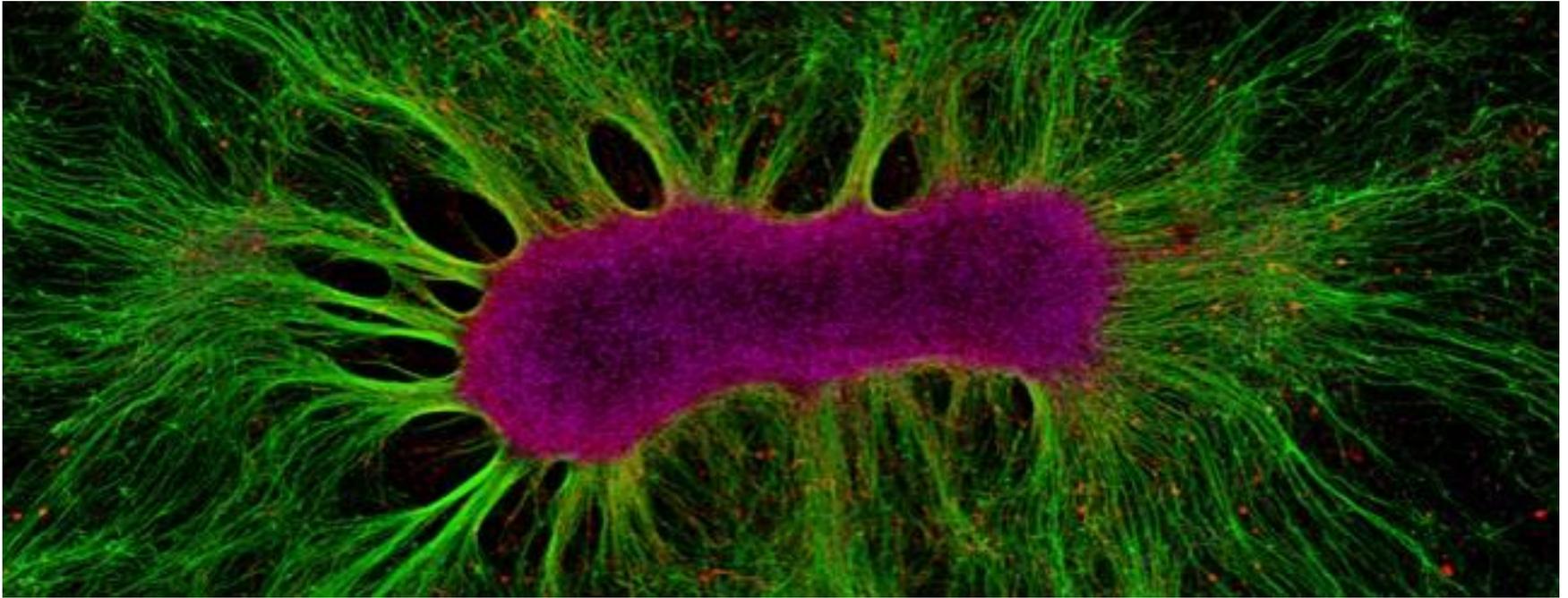


Program a Drone for Autonomous Flying

Junior Spring Project (16.405: Robotics: Science & Systems)



Program a Race Car for Autonomous Driving



Living Machines

- Students from Biological Engineering, Chemical Engineering, Mechanical Engineering, Electrical Engineering and Computer Science and technical degrees
- Professors Linda Griffith, Eric Alm (co-leads) + Xuanhe Zhao, Chris Love
- 2nd Year - diff eqs, programming, thermodynamics, NEET seminar,
- 2nd Year project – Skills learned in context of start-up
- 3rd Year project – Supervised research experience UROP
- 4th Year project – Integrated project – organ-on-a-chip

NEET Living Machines --- Projects

With an emphasis on novel interdisciplinary research and intellectual ownership, LM focuses on one major, three-year overall research goal, whereby the students collaborate to build a human gut-microbiome microphysiological system.

Gut-Microbiome Microphysiological System

Soph

20.051 – Skill Development

- Teams of 4-6 work on same project
- Fall will be background and lab skills
- Spring they work on the project
- Competitive in nature, each team is a small company with CEO, CSO, etc. They file 'patents' and 'raise funds'.
- Performance criteria measured at the end.



Jun

20.052 – Individual Research

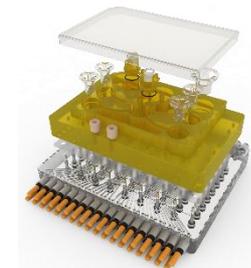
- Considered the meat of the program
- Pursued under UROPs and SuperUROPs at various MIT labs.
- Closely monitored
- Must have intellectual ownership
- Project geared towards interests and post-graduation goals



Sen

20.053 – Integration

- Students bring with them:
 - Knowledge acquired
 - Knowledge produced
 - Technologies developed
 - Skills learned
- Integrated into our gut-microbiome system.





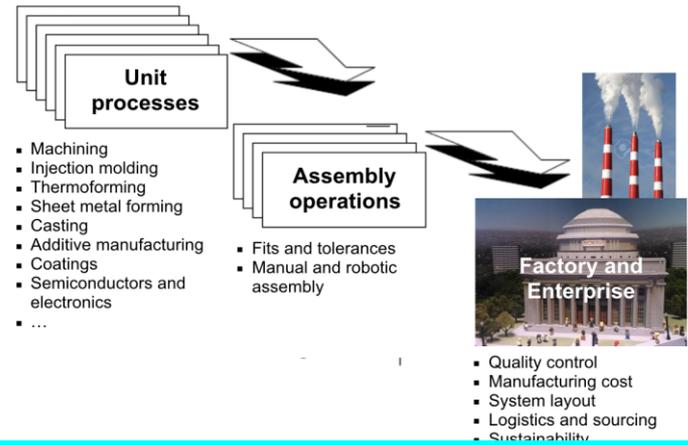
Advanced Materials Machines

- Students from Materials Science and Engineering and Mechanical Engineering
- Professors Elsa Olivetti (lead) + John Hart
- 2nd Year - diff eqs, programming, mechanics, materials, NEET seminar
- 2nd Year project – Integrated materials/mechanical design project
- 3rd Year – Materials processing
- 4th Year – Additive manufacturing

NEET Advanced Materials Machines --- Projects

The overall project progression includes prototyping, production, as well as product and process innovation, including machine building and materials characterization

Junior Fall (2.008: Design and Manufacturing II)



Sophomore Fall and Spring (3.007: Intro to Materials & Mechanical Design; 3.xx)

Junior Spring (3.042: Materials Project Lab)

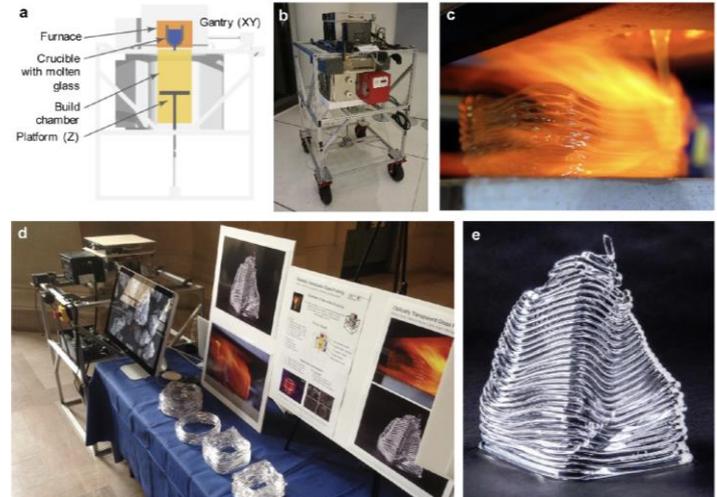


Drip irrigation tubing from plastics residue

Shear thickening fluid-air helmet



Senior Spring (2.S998: Additive Manufacturing)



Senior Fall (2.013: Engineering Systems Design)



Renewable Energy Machines

- All majors including students from Nuclear Engineering, Civil & Environmental Engineering, Mechanical Engineering and Physics
- Professors Mike Short, Oral Buyukozturk (co-leads)
- 2nd Year - programming, economics, diff. eqs, physics of energy, intro to nuclear engineering, NEET seminar
- 2nd Year project – Building projects involving solar cells, batteries, fuel cells biofuels, and micro-heat engines.
- 3rd Year – Large scale design-build-test, or a Super UROP in energy
- 4th Year – Renewable energy design competition
- Will automatically get a minor in Energy Studies

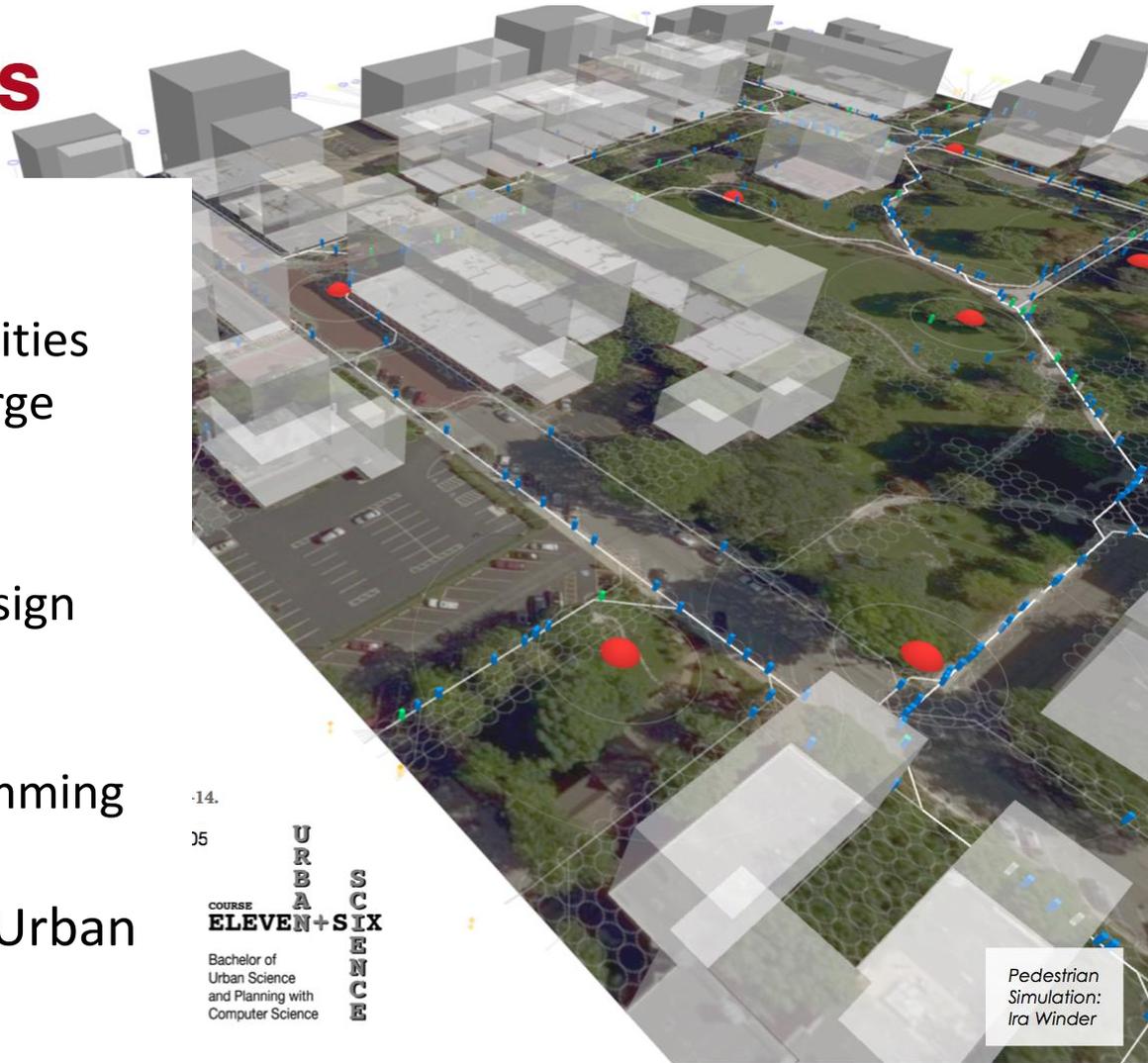
Renewable Energy Machines --- Projects

- **Sophomore Fall** – 6 unit Design Course designed to instill creativity, teamwork, and rapid prototyping
- **Sophomore Spring** – Building projects involving solar cells, batteries, fuel cells biofuels, and micro-heat engines. Explores opportunities and challenges to mixing sources. “Energy” design competition (centered around generation and energy sources)
- **Junior Spring** – Large-scale design-build-test of complete energy system
 - Or a super UROP in energy
- **Senior Spring** – Renewable energy design competition where you identify and solve a global-scale, clean energy challenge

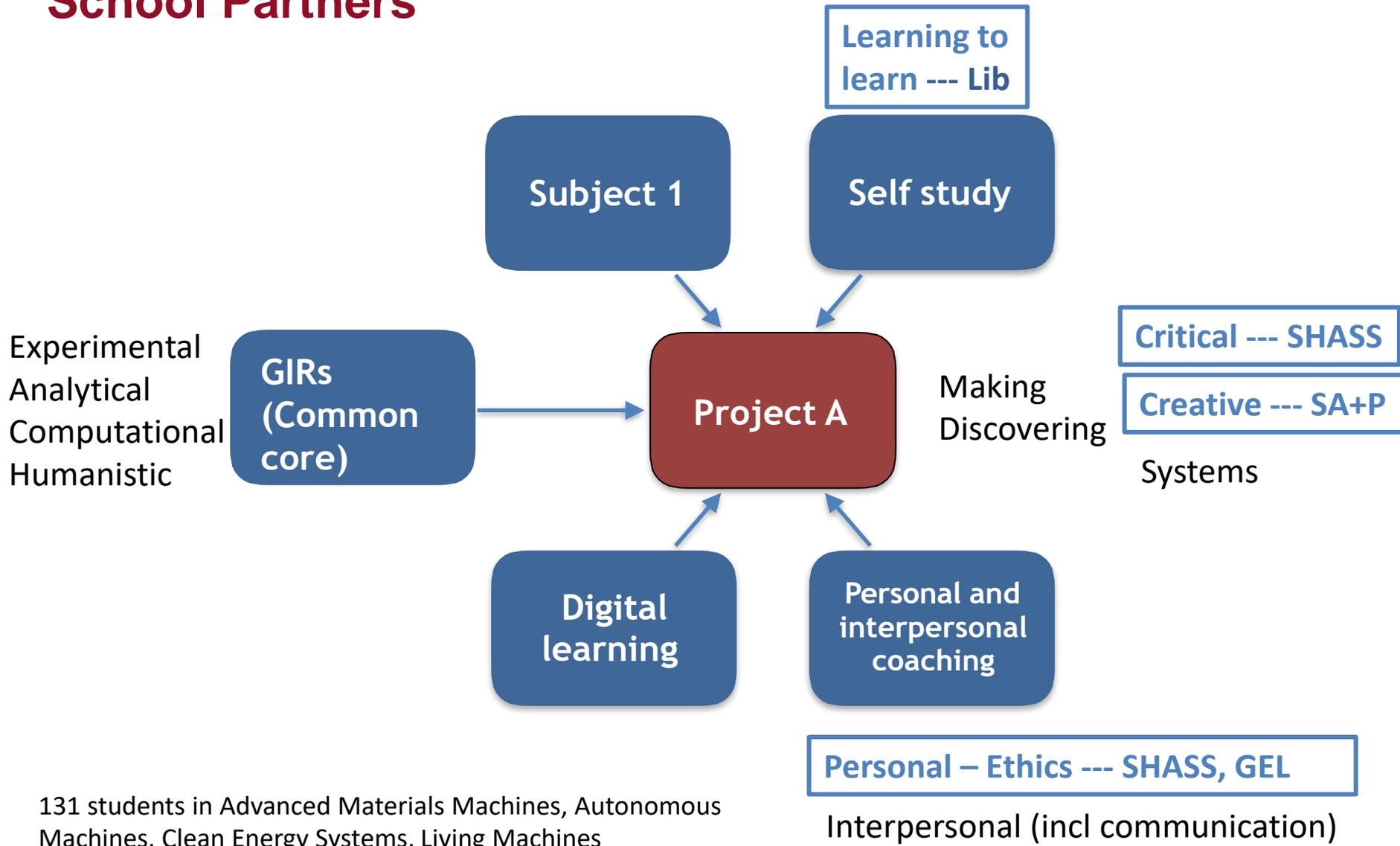
NEET Digital Cities

New Engineering Education Transformation

- Projects:
 - Help the MIT community
 - Engage with clients and cities
 - Complexity + public at large
- Seminars
- Courses
 - Introduction to urban design
 - Urban planning
 - Intro to programming
 - Fundamentals of programming
- All majors
- Hosted by Department of Urban Studies and Planning



Cross-School Approach: Ways of Thinking in Threads, Developed with Cross-School Partners

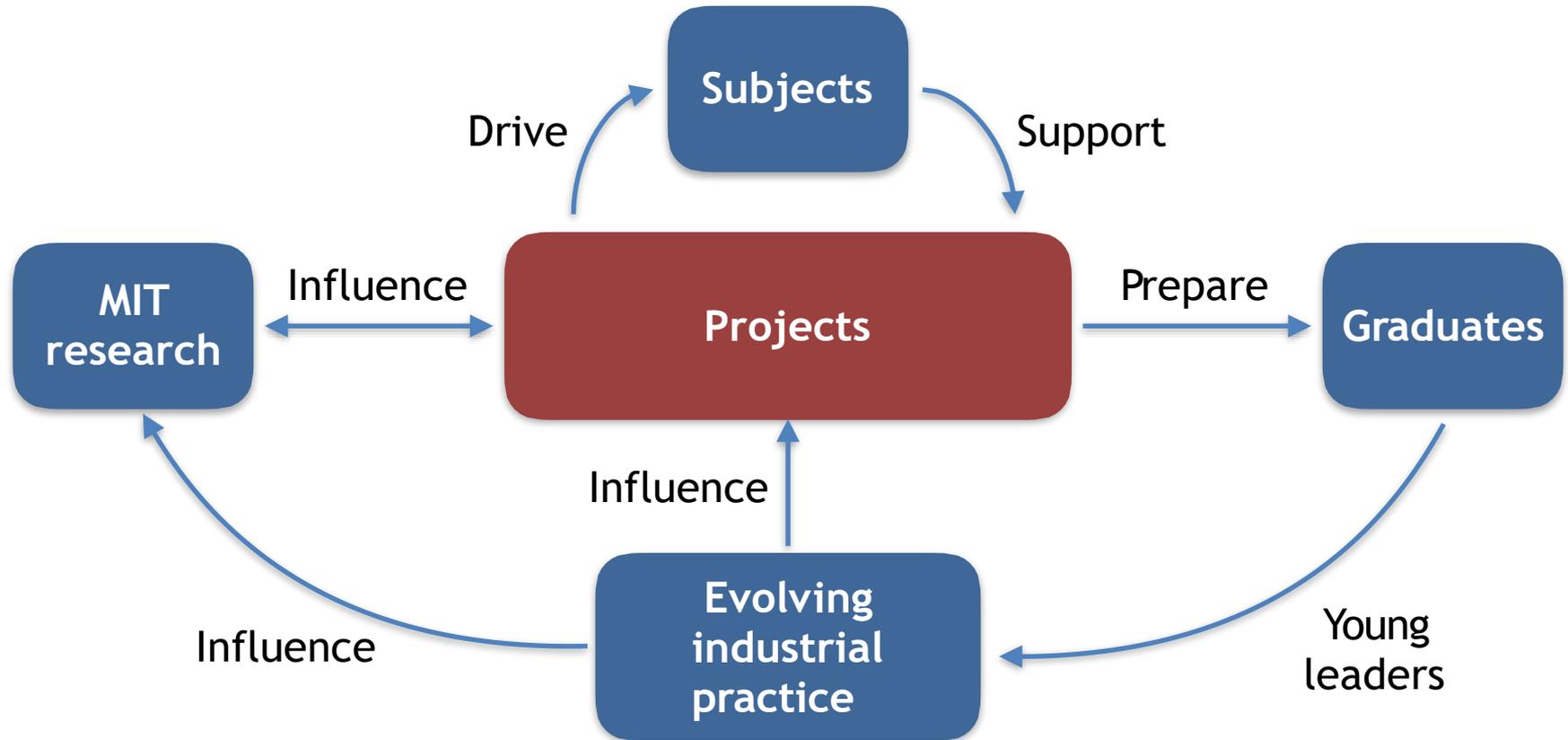


131 students in Advanced Materials Machines, Autonomous Machines, Clean Energy Systems, Living Machines

Student View of NEET Going Forward

- **Community**
- **Projects**
- **Career**

Process of Renewal



“Secret Sauce”

- **Stakeholder engagement**
- **Great vision**
- **Strong team**
- **Piloting**
- **Think and act start-up**

The Culture and Values of MIT

- Useful knowledge (1861) “... in industrial society, science and technology were legitimate foundations for higher knowledge...”
- Societal responsibility (1861) “... to apply the fruits of scientific discovery to the satisfaction of human wants”
- Learning by doing (1861) “... converting personal experience into knowledge.”
- Education as preparation for life (1949) “... provide students with an education that better prepares engineers to function as professionals...”
- The value of fundamentals (1949) “...education should be based on the fundamental principles...”

Summarized in the Task force on Student Life and Learning 1998

Thank you!

see:

neet.mit.edu

contact:

Babi Mitra: babi@mit.edu

Let's build a NEET future for our students!

Трансформация образования в новом инженерном деле (ТОНИД)

Ed Crawley
Reko Hosoi
Babi Mitra



Трансформация образования в новом инженерном деле (ТОНИД)

- Переосмысление того, что и как изучают наши студенты, чтобы лучше подготовить их к внесению важного вклада в XXI веке**
- Усиление вклада MIT в развитие инженерного образования во всём мире**

Машины XX века

- Автомобили
- Воздушные суда
- Рефрижераторы
- Компьютеры
- Электрификация
и так далее...

Вызовы XXI века



Устойчивое
развитие



Энергия



Здоровье

Новые машины и системы!

Стейкхолдеры двигают инновации в образовании

Устаревшие машины



Новые машины



4 студентоцентрированных принципа ТОНИД

- Новые машины и системы
- Способы мышления
- Исследования и производство
- Педагогика для цифрового поколения

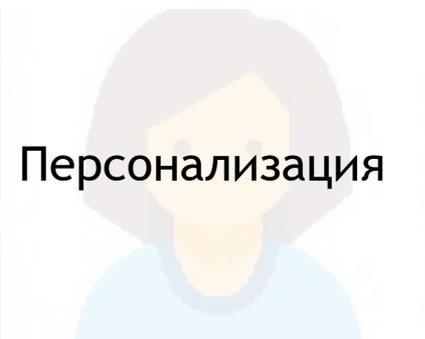
Способы мышления – достижения MIT



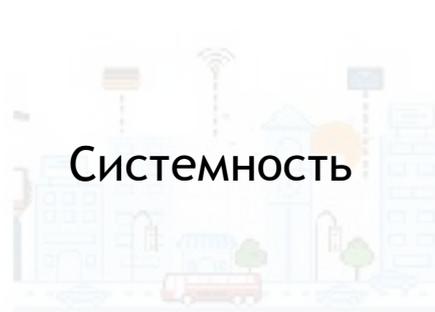
Экспериментальность



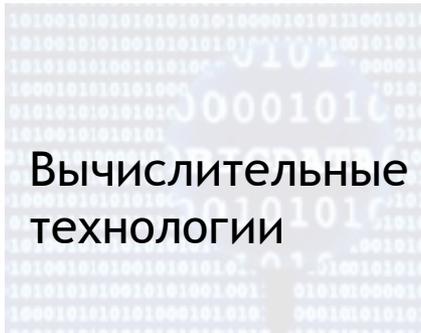
Производство



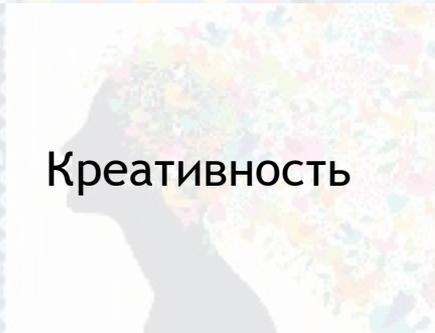
Персонализация



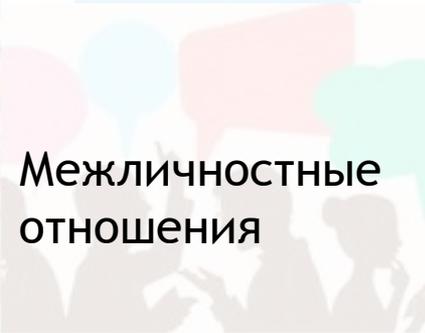
Системность



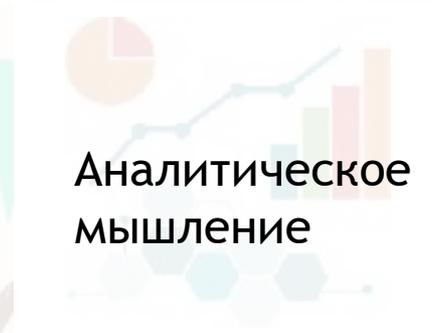
Вычислительные технологии



Креативность



Межличностные отношения



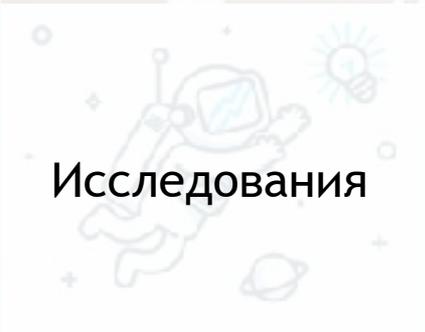
Аналитическое мышление



Гуманизм



Умение учиться



Исследования



Критическое мышление

**«Учёные исследуют мир,
который уже существует;
инженеры же создают мир,
которого раньше не было»**

Theodore von Karman

Американский учёный в области физики и механики, заложивший основы ракетостроения, сверхзвуковой авиации и космонавтики.

Как учатся «цифровые аборигены»?

- edX
- MOOCs
- Программы Micro Masters
- xPRO
- MIT ili (интегрированная образовательная инициатива)
- MIT OpenCourseWare

Эволюция идей

Обратная связь от стейкхолдеров

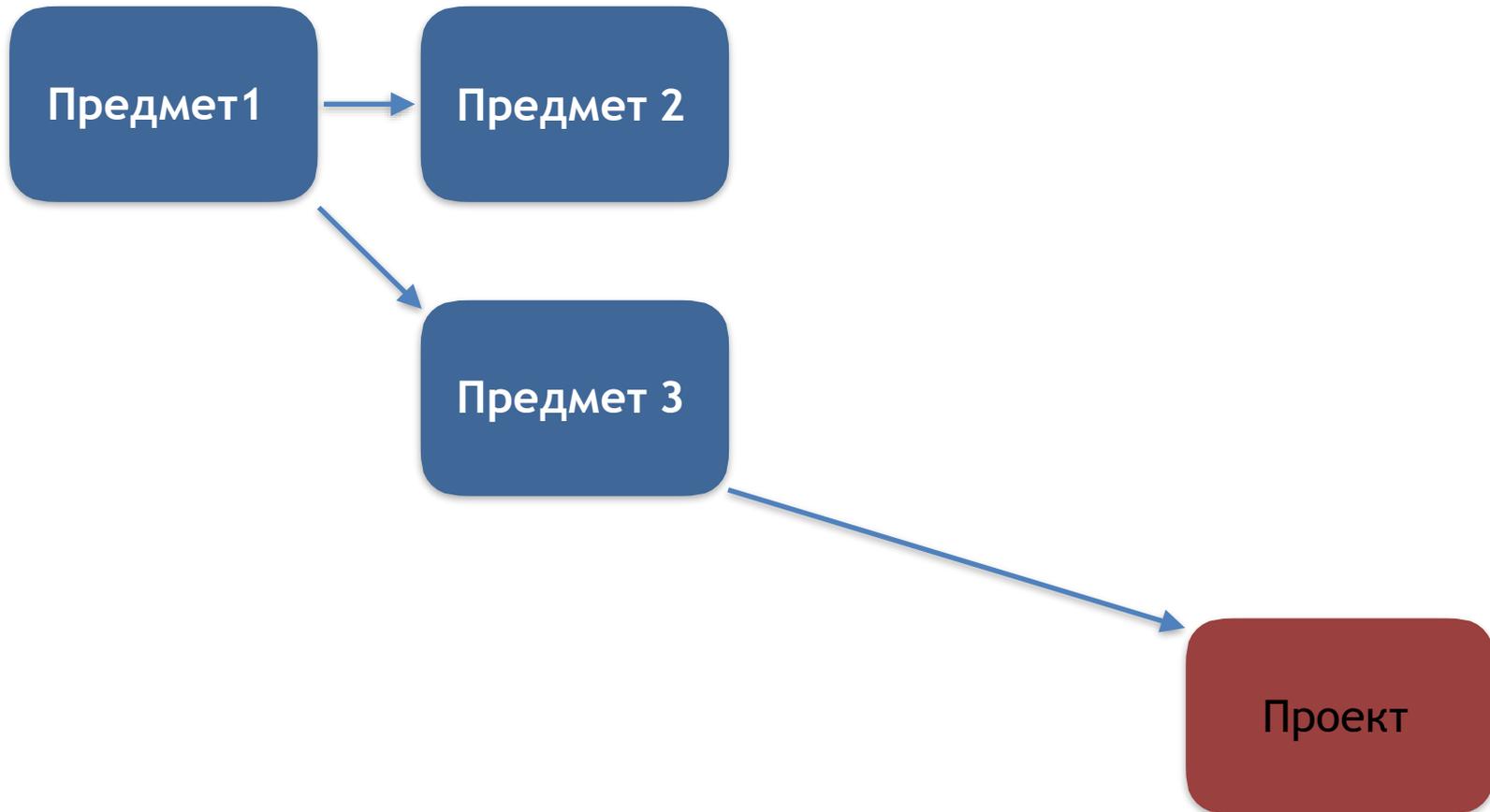
- Ведущие специалисты
- Бенчмаркинг
- Промышленность
- Выпускники
- Студенты
- НПР



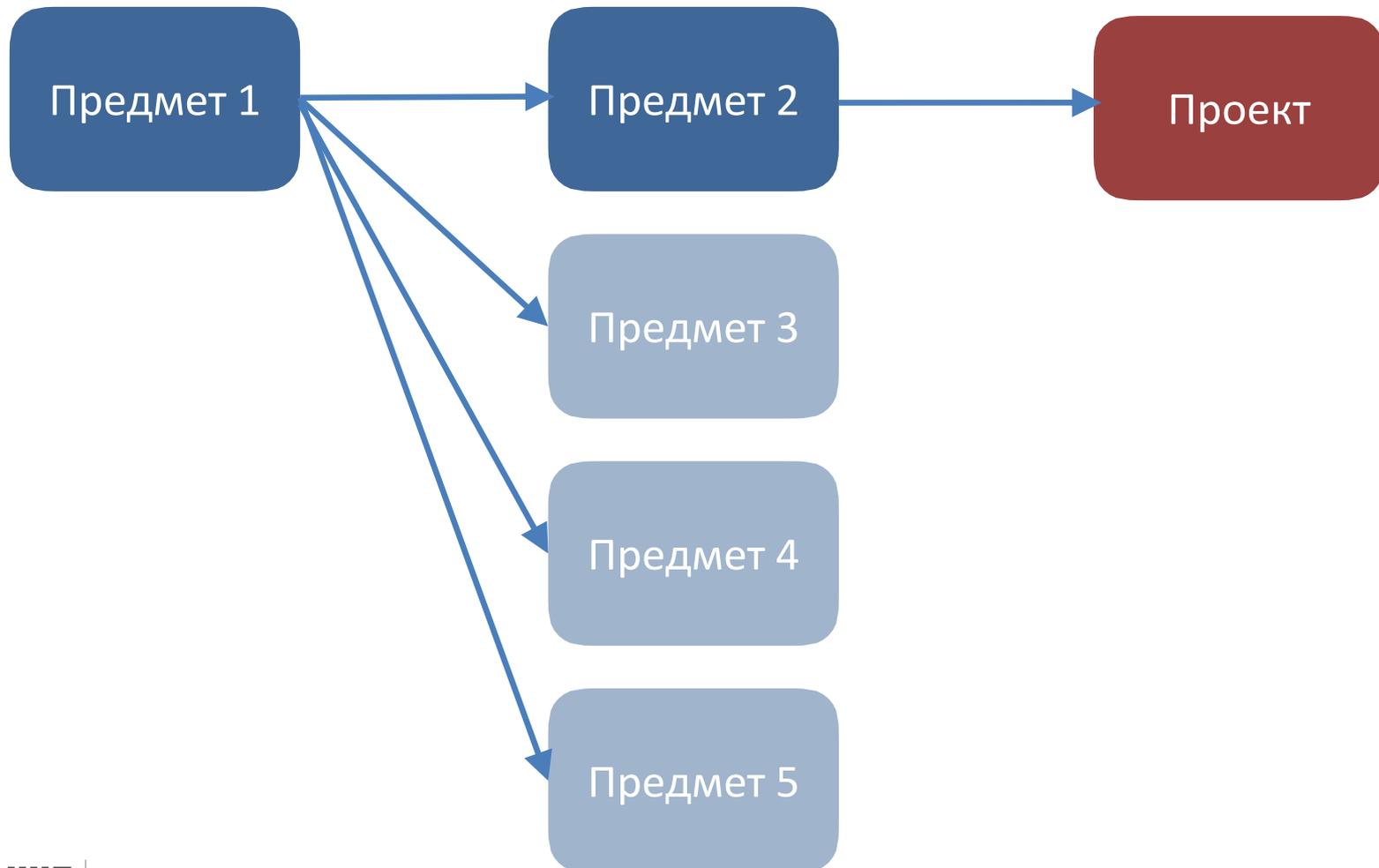
Принципы ТОНИД

- Новые машины и системы
- Исследователи и производители
- Педагогическая поддержка обучения цифровых аборигенов
- Способы мышления

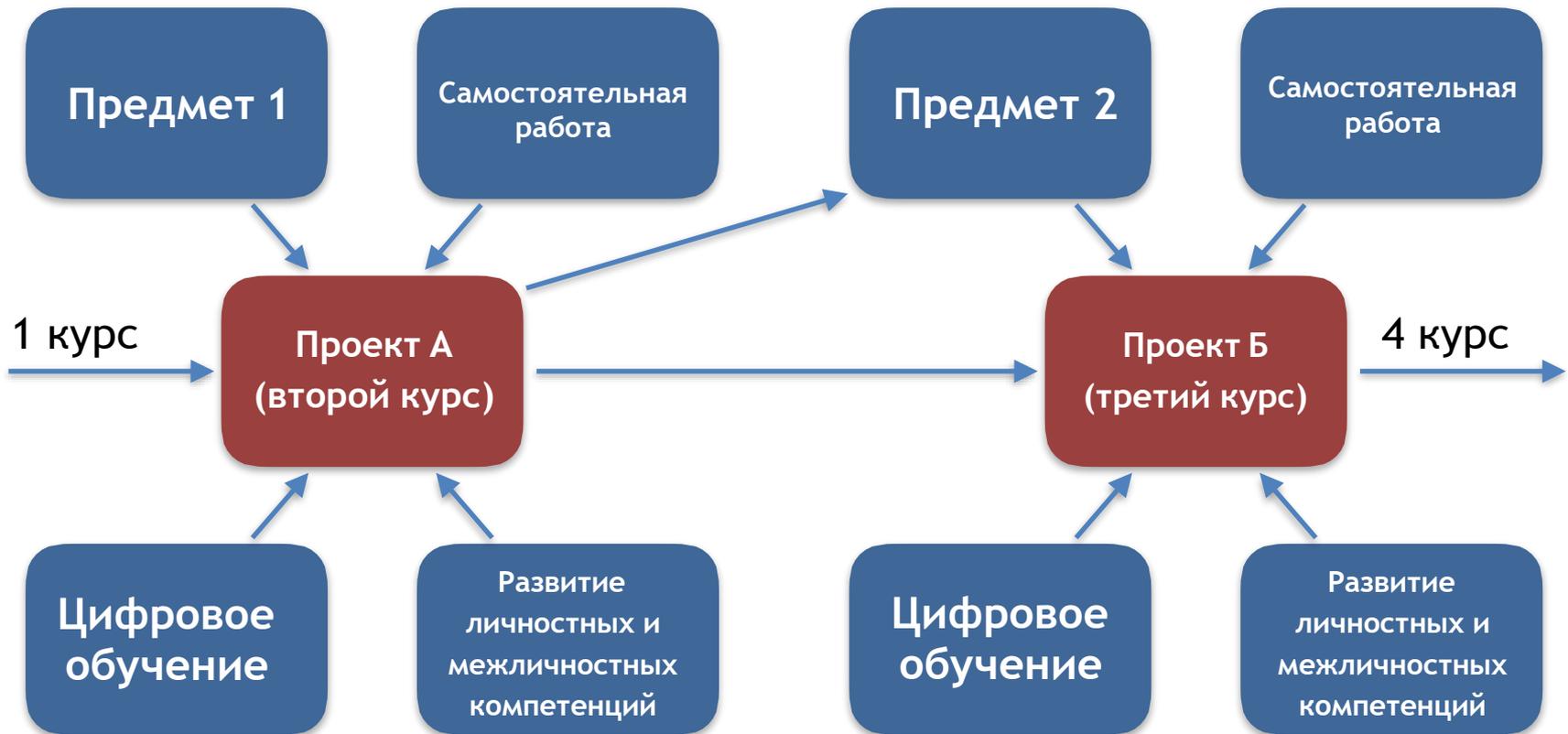
Традиционная предметно-ориентированная учебная программа



Гибкая предметно-ориентированная учебная программа

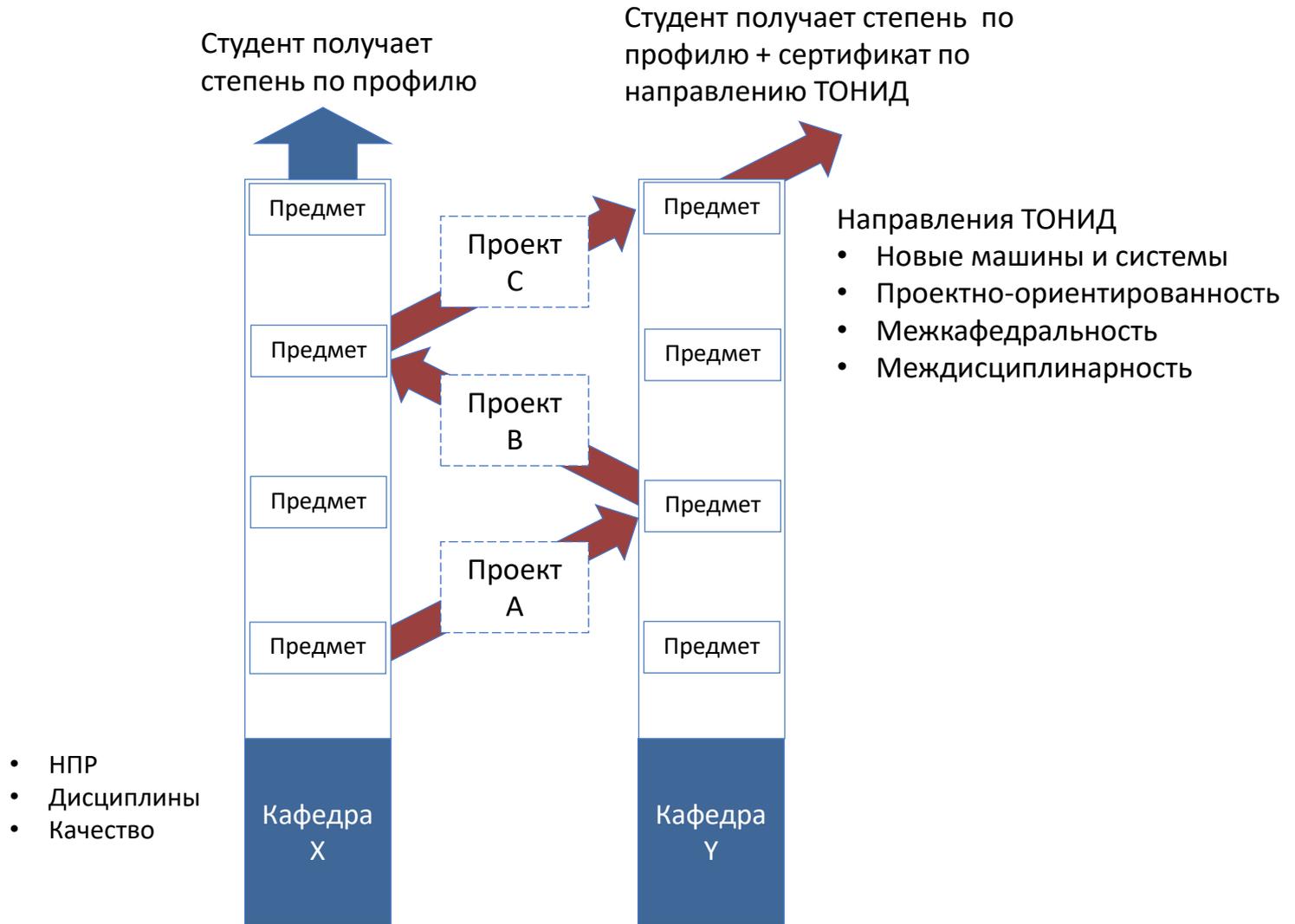


Межкафедральные проекты на 2, 3 и 4 курсах обучения



Новые комплексы основ, позаимствованные с разных кафедр, в тесной связи с инновациями и предпринимательством

Межкафедральные направления ТОНИД



Направления в 2019 году

- **Автономные машины**
 - Аэронавтика, Астронавтика + Машиностроение + Робототехника
- **Живые машины**
 - Биоинженерия + Машиностроение + Механика + Химиоинженерия
- **Новые материалы и машины**
 - Материалы + Машиностроение
- **Машины по возобновляемой энергетике**
 - Ядерная физика + Экология + Машиностроение
- **Цифровые города**
 - Урбанизм + Компьютерные науки

Что студент получает при выпуске?

Степень бакалавра по основному
профилю

+

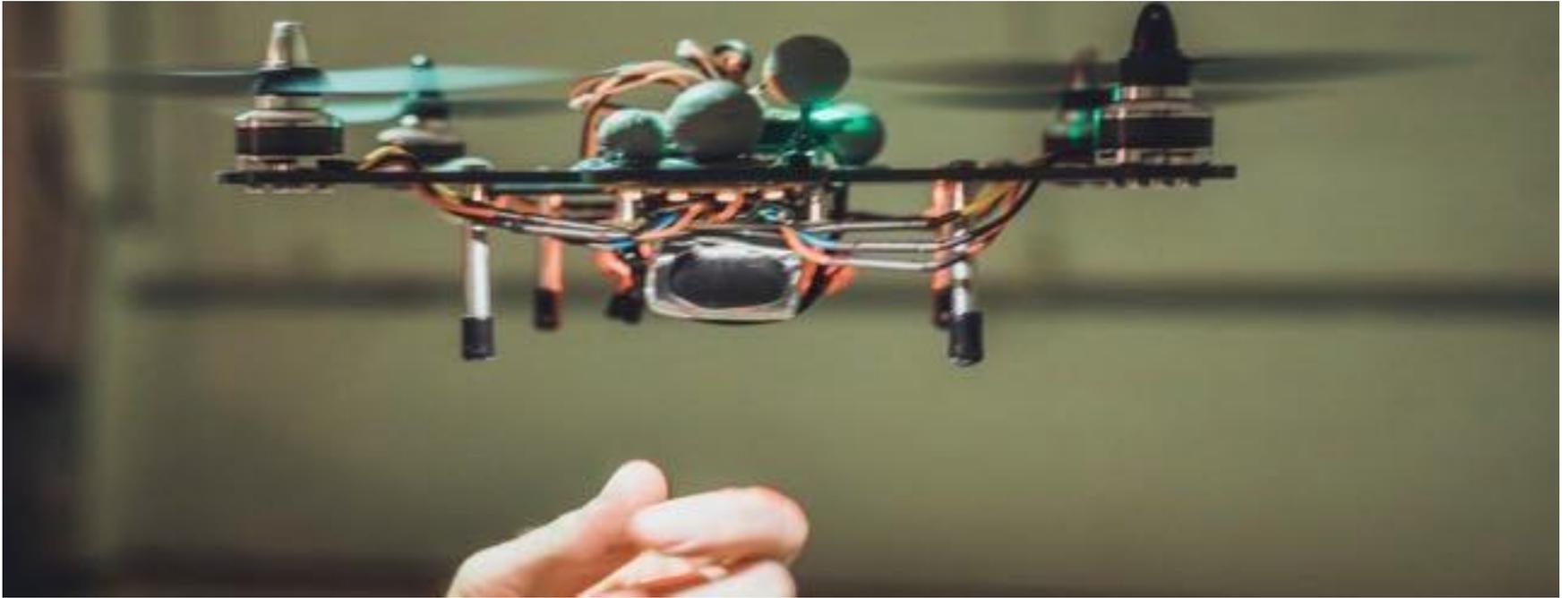
Сертификат по направлению ТОНИД
(например, «Автономные машины»)

131 студент уже участвует в ТОНИД

Осень 2018	92	~ 12%
Осень 2017	39	~ 5%

Осенью 2019 года мы предлагаем 5 направлений:

- Автономные машины
- Живые машины
- Новые материалы и машины
- Машины по возобновляемой энергетике
- Цифровые города



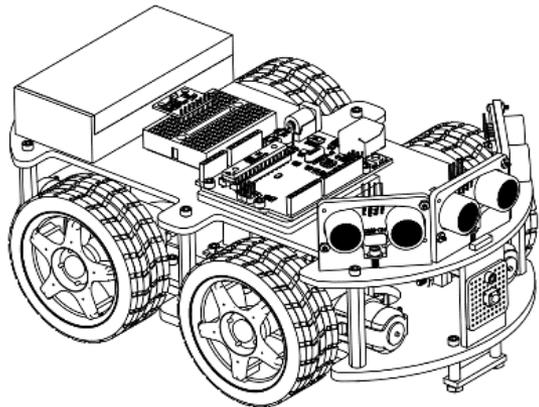
Автономные машины

- Аэрокосмическая отрасль + Материаловедение + Электромеханика + Компьютерные науки
- 2 курс - дифференциальные уравнения, механика, сигналы и системы, программирование, теория вероятности, проекты по робототехнике, семинары по новому инженерному делу
- Проект 2 курса – Робот закрытого цикла
- Проект 3 курса – Самоуправляемая гоночная машина
- Проект 4 курса – Автономная машина

Автономные машины – проекты

Цель: научиться проектировать и применять механические системы, ПО и автономные алгоритмы для создания реальных роботов.

Прикладной семинар для студентов второго курса, осенний семестр



Программа Smart Car для автономного вождения

Проект для студентов второго курса, весенний семестр (Дизайн и Производство)



Спроектировать и построить автономно управляемого робота

Прикладной семинар для студентов третьего курса, осенний семестр

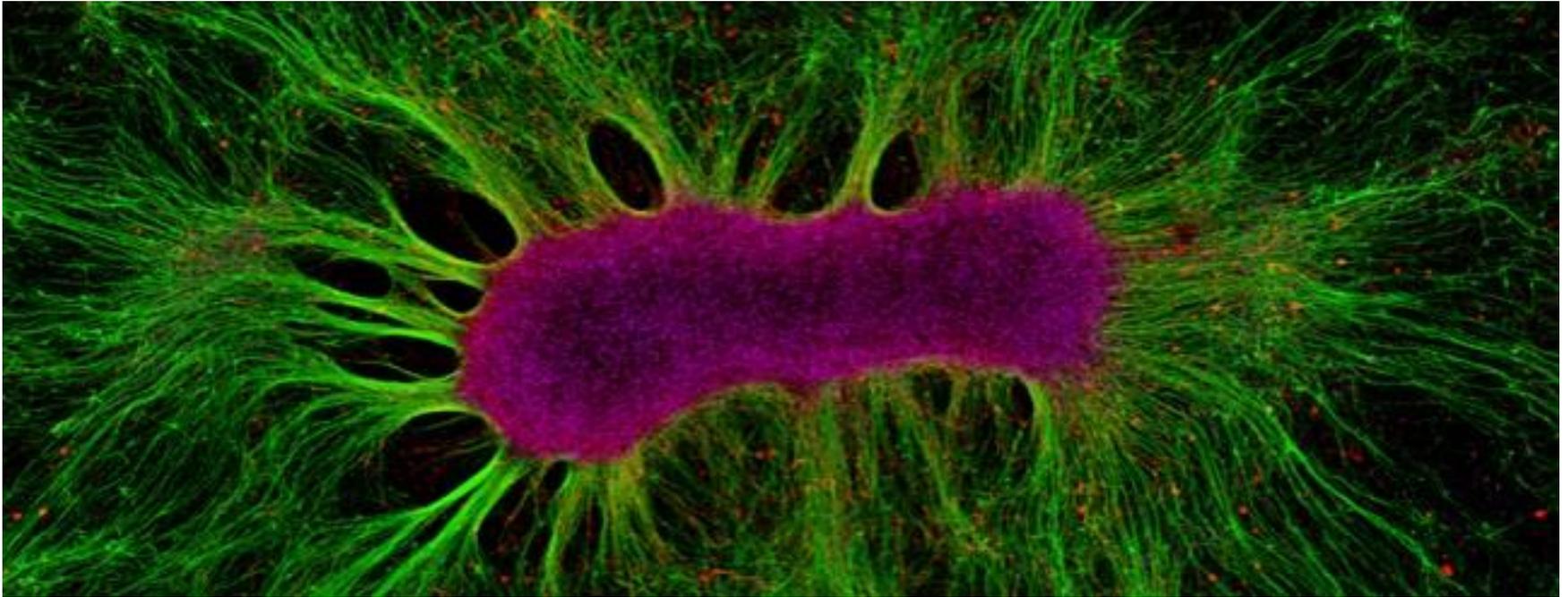


Беспилотник для автономного полёта

Проект студентов третьего курса, весенний семестр (Робототехника: Наука и Системы)



Спрограммировать гоночную автономную машину



Живые машины

- Биоинженерия + Химиоинженерия + Машиностроение + Компьютерные науки
- 2 курс – дифференциальные уравнения, программирование, термодинамика, семинары по новому инженерному делу
- Проект 2 курса – Навыки, получаемые в контексте создания и развития стартапа
- Проект 3 курса – Научно-исследовательская работа по биотехнике
- Проект 4 курса – Комплексный проект – орган на чипе

Живые машины – проекты

С упором на новые междисциплинарные исследования и интеллектуальную собственность, направление фокусируется на общей 3-летней цели исследования, которая реализуется в совместной работе студентов и направлена на построение микрофизиологической системы кишечного микробиома человека.

Микрофизиологическая система кишечного микробиома

2к

Развитие навыков

- Команды из 4-6 человек работают над проектом
- Осенью развиваются основные и лабораторные навыки
- Весной студенты работают над проектом
- Каждая команда – это маленькая конкурентоспособная компания с директором и т.д. Они подают заявки на патенты и «ищут средства»
- Критерии эффективности измеряются в конце



3к

Индивидуальное исследование

- Изучают основы программы
- Занимаются по программам UROP и SuperUROP в лабораториях MIT
- Наблюдаются менторами
- Должны иметь интеллектуальную собственность
- Проект направлен на интересы и цели студентов для пост-дипломного обучения



4к

Интеграция

- Студенты получают:
 - Теоретические знания
 - Знания, проверенные на практике
 - Разработанные технологии
 - Навыки и умения
- Интеграция всех полученных новых знаний и умений для построения системы кишечного микробиома





Новые материалы и машины

- Материаловедение + Инженерия + Машиностроение
- 2 курс - дифференциальные уравнения, программирование, механика, материаловедение, семинары по новому инженерному делу
- Проект 2 курса – Интегрированные материалы/дизайнерский проект по механике
- Проект 3 курса – Обработка материалов
- Проект 4 курса – Аддитивное производство

Новые материалы и машины – проекты

Общее развитие проекта включает в себя создание прототипов, производство, а также инновации в продуктах и процессах, включая машиностроение и характеристики материалов.

Второй курс – Введение в Материалы и Дизайн машиностроения

Третий курс, весенний семестр (Проект по материаловедению)

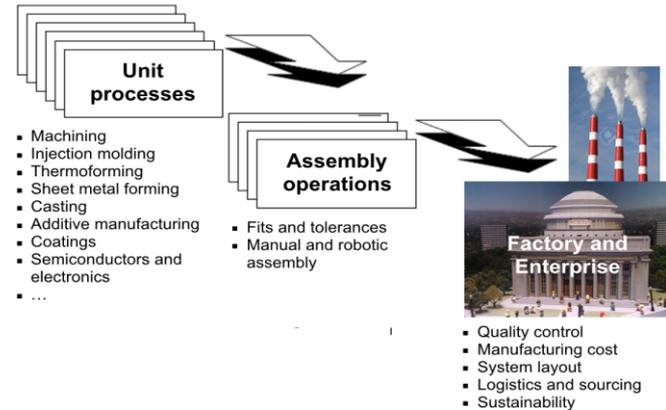


Drip irrigation tubing from plastics residue

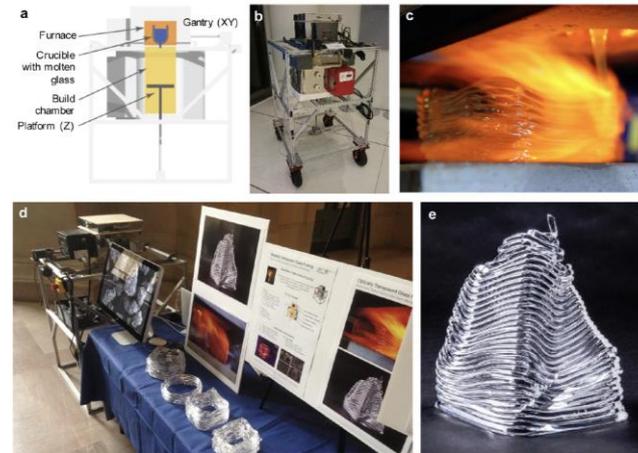
Shear Thickening fluid-air helmet



Третий курс, осенний семестр (Дизайн и Производство)



Последний курс, весенний семестр (Аддитивное производство)



Последний курс, осенний семестр (Дизайн инженерных систем)



Машины по возобновляемой энергетике

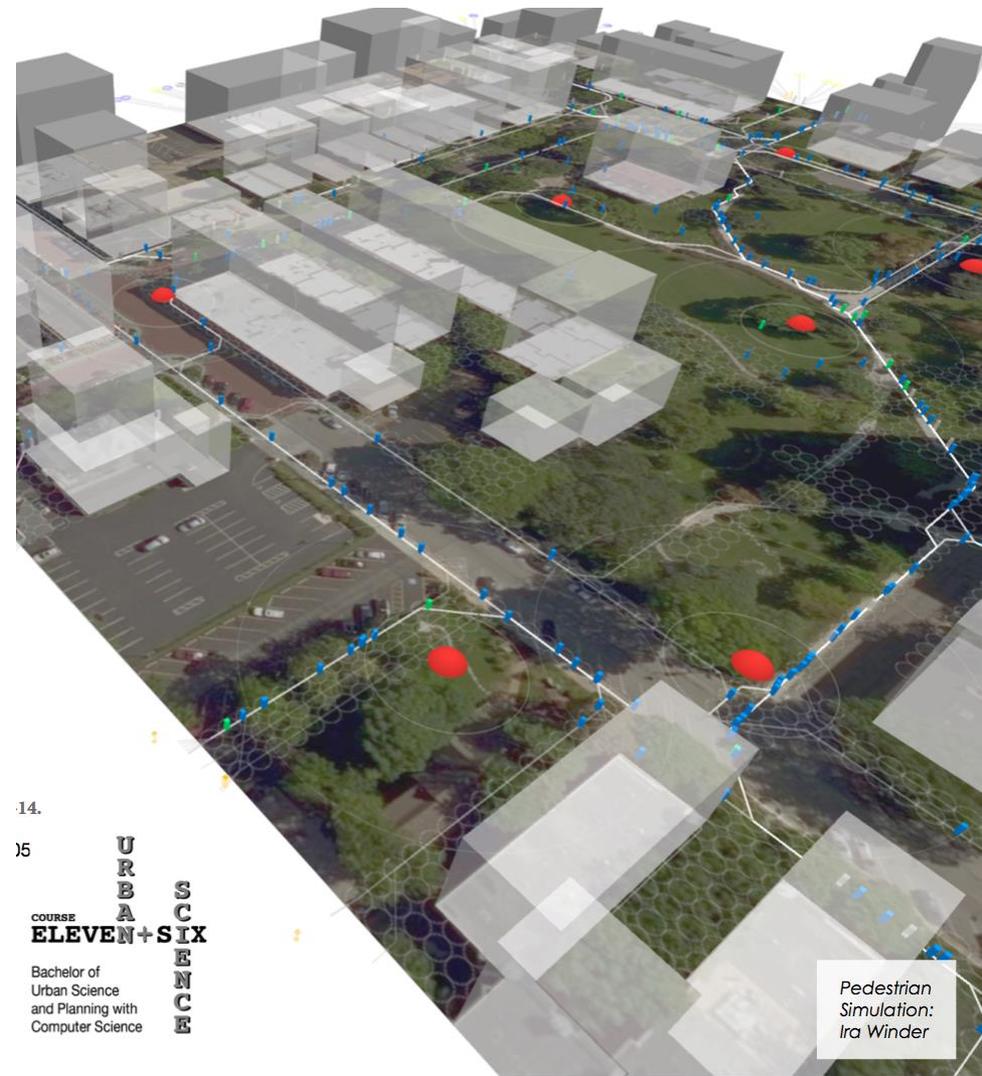
- Атомная энергетика + Экология + Физика + Машиностроение
- 2 курс – программирование, экономика, дифференциальные уравнения, физика энергии, введение в атомную энергетику, семинары по новому инженерному делу
- Проект 2 курса – Пример системы возобновляемой энергии
- Проект 3 курса – Сеть из систем возобновляемой энергии
- Проект 4 курса – Конкурс по возобновляемой энергии
- Студенты автоматически получают сертификат по направлению «Энергетика»

Машины по возобновляемой энергетике – проекты

- **Второй курс, осенний семестр** – Курс по Дизайну из 6 предметов, направленный на развитие креативности, умения работать в команде и навыков быстрого прототипирования
- **Второй курс, весенний семестр** – Проекты с участием солнечных элементов, батарей, топливных элементов, биотоплива и микротепловых двигателей. Студенты исследуют возможности и проблемы использования разных источников. Конкурс «Энергия» (в центре внимания генерация и источники энергии)
- **Третий курс, весенний семестр** – Масштабное проектирование – производство – тестирование полноценной энергетической системы – Или superUROП в энергетике
- **Последний курс, весенний семестр** – Конкурс по возобновляемой энергетике, направленный на определение и решение глобального вызова по получению экологически чистой энергии

Цифровые города

- Проекты:
 - Помочь сообществу MIT
 - Взаимодействовать со стейкхолдерами и правительствами городов
 - Высокий уровень сложности на благо всего населения городов
- Семинары
- Курсы
 - Введение в градостроительное проектирование
 - Городское планирование
 - Введение в программирование
 - Основы программирования
- Все профили в области инженерных дисциплин



Межпрофильный подход: Способы мышления развиваются на основе партнёрства в Школе инженерной подготовки



Взгляд на ТОНИД с точки зрения будущих студентов

- Сообщество
- Проекты
- Карьера

Спасибо за внимание!

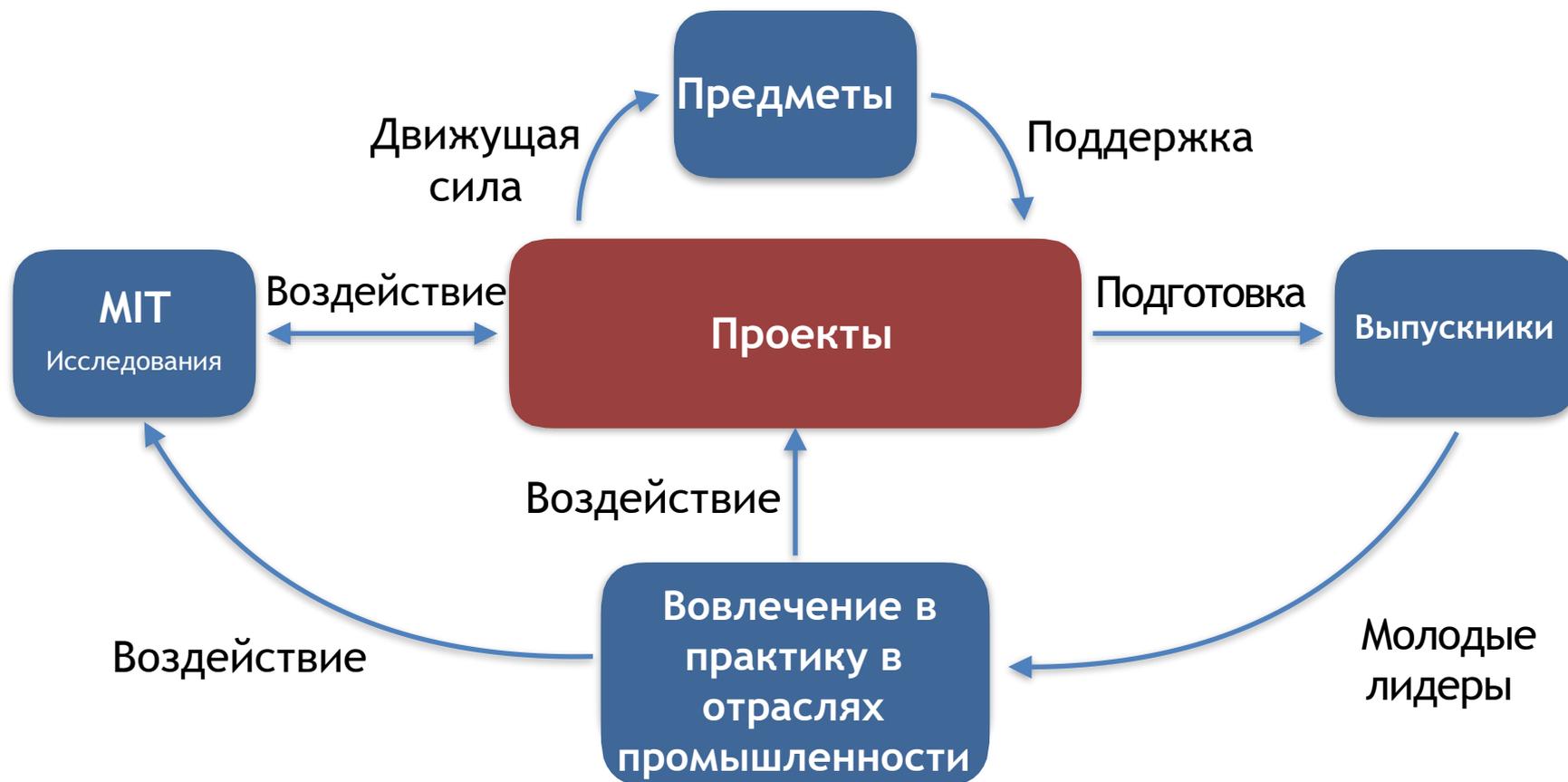
Наш сайт:
neet.mit.edu

Контакты:

Babi Mitra: babi@mit.edu

Давайте построим будущее для наших студентов через призму ТОНИД!

Воссоздаваемый процесс



«Секретный соус»

Взаимодействие со
стейкхолдерами

Отличное видение

Сильная команда

Апробирование

Задумай и открой стартап

Культура и ценности MIT

- Полезные знания (1861) «... в индустриальном обществе наука и техника были законной основой для высшего знания...»
- Общественная ответственность (1861) «... применять плоды научных открытий для удовлетворения человеческих потребностей».
- Обучение на практике (1861) «... превращение личного опыта в знание».
- Образование как подготовка к жизни (1949) «... предоставить учащимся образование, которое готовит инженеров как профессионалов в своей области».
- Ценность основ (1949) «... образование должно основываться на фундаментальных принципах ...»

Основные выводы приведены из Положения MIT по учебной и внеучебной деятельности с 1998 года

**Текст к презентации Эдварда Кроули
«Трансформация образования в новом
инженерном деле (ТОНИД)»**

Москва

2 апреля 2019г.

Слайд 1. В первую очередь, я хотел бы поблагодарить вас, уважаемые коллеги, за то, что вы пришли сегодня в такой ранний час на эту встречу. К сожалению, я не мог перенести это мероприятие на более позднее время, потому что сейчас я вернулся к преподаванию в МТИ, и каждое утро в среду я веду лекции.

Мой друг был президентом МТИ, и он говорил следующее: «Чем же занимаются бывшие ректоры и президенты университетов? Они пишут книги обо всём том, что у них не получилось на должности президента или ректора». Сейчас я как раз пишу книгу о том, что у меня не получилось сделать, пока я возглавлял один из университетов. То, над чем я работаю, - это трансформация инженерного образования. Я хочу пересмотреть подход к образованию учёных, не только инженеров (когда я буду говорить «инженер», я буду иметь в виду в

широком смысле слова всех специалистов и всё то, что люди создают руками, включая новые материалы, покрытия и так далее). Когда я вернулся в МТИ, меня вызвал к себе декан и сказал: «Я хочу, чтобы ты занялся трансформацией образования на нашем инженерном факультете».

Слайд 2. Естественно, эта задача была очень амбициозной. Мы разработали программу под названием ТОНИД, и два года назад я рассказывал в НИТУ «МИСиС» об этом, и тогда мы были на самых ранних этапах её реализации. Сейчас я хотел бы рассказать вам о том, с чего мы начинали и чего мы достигли. Мои коллеги по трансформации – это Реко Носои и Вабі Мітра. Вабі Мітра весьма интересный человек, он родом из Индии, но получал образование в МТИ, а затем стал деканом инженерного факультета в новом университете в Индии. По сути, это предприниматель, который открыл собственный факультет инженерного образования в Индии. Декан по образованию занимается пересмотром подхода к образованию и обучению; он должен понять, как сделать так, чтобы студенты сделали более ценный вклад в решение основных

проблем XXI века. Основная цель – это повышение уровня образования, и мы делаем всё, чтобы повысить вклад МТИ в общее дело. Мы будем учиться у других, другие университеты будут что-то черпать у нас.

Слайд 3. Я показываю вам этот график для того, чтобы показать, что интересует инженеров. В XX веке инженеры и специалисты по прикладным наукам занимались, в основном, такими вопросами, как автомобили, самолёты, холодильники, компьютеры, электрификация и так далее. В начале 21 века в Национальной академии инженерного дела в США была собрана группа специалистов, и перед ними поставили вопрос: «Как будет выглядеть схожий перечень для XXI века?». Понятно, что невозможно было ответить на этот вопрос. Если бы я спросил у вас: Как вы думаете, какие самые важные машины будут изобретены инженерами с 2080 по 2100 год?». Невозможно ответить на этот вопрос. Соответственно, этот комитет решил обозначить основные вызовы, с которыми придётся столкнуться в XXI веке – это устойчивое развитие, энергетика, здравоохранение, пищевая безопасность и так

далее. Я пришёл к такому выводу, что законодатели тоже будут решать все эти вызовы и проблемы, юристы будут играть не последнюю роль, а инженеры будут изобретать машины и системы – собственно, в этом и заключается предназначение инженеров. Они будут рассматривать проблемы и будут думать, как их решить за счёт изобретения новых машин и систем. И это очень важный момент, потому что он позволит нам обозначить перспективы на дальнейшее обсуждение, задаст направления обучения наших студентов. Мы ориентируемся не на то, чем мы занимались в прошлом, а на то, чем будут заниматься наши студенты в будущем. Почему же мы до сих пор строим инженерное образование на концепциях, которые были разработаны почти век назад? Мы должны опираться на текущие концепции, в этом и заключается основная сложность. Хороший канадский хоккеист, Уэйн Гретцки, говорил: «Надо оказаться там, где шайба будет, а не там, где она находится в данный момент». Поэтому мы должны относиться к инженерному образованию так же: мы должны предвосхитить,

где шайба окажется в будущем, несмотря на то, что это очень сложная задача.

Слайд 4. Мы разработали процесс, который основывался на мнении всех заинтересованных сторон. Мы провели консультации с нашими студентами, ППС, специалистами из различных отраслей и других университетов.

Слайд 5. На нашем сайте есть результаты очень интересного исследования «The global state of the art in engineering education» (см. ссылку: <http://neet.mit.edu/about/benchmarking/>).

Независимое Британское агентство опросило университеты, занимающиеся трансформацией инженерного образования, на предмет выявления основных тенденций в инженерном обучении. С левой стороны вы видите устаревшие машины – фото этого Боинга-747 сделано в 70-е года прошлого века, он работает на керосине, и в кабине обязательно должен сидеть пилот. С правой стороны беспилотный летательный аппарат, дрон, который сделан из композиционных материалов, он автономный и летает на электродвигателе. К сожалению, студентов учат проектированию старых машин.

Возникает вопрос: почему мы не готовим студентов к проектированию новых машин?

Слайд 6. В программе трансформации инженерного образования заложена мысль о том, что нам нужно сконцентрироваться на новых машинах и системах, и это как раз то, что лежит в основе проведения исследовательских работ непосредственно в университете. Если посмотреть, что происходит в наших лабораториях, мы сможем увидеть прогресс в новых направлениях, и это позволит нам сделать прогноз хотя бы на 20-30 лет вперёд о том, чем будут заниматься наши студенты, когда будут профессиональными инженерами.

Есть определённый ряд причин, почему при составлении учебных программ мы ориентируемся на прошлое, а не на будущее. Одна из них заключается в системе аккредитации вузов в США, которая является весьма консервативной и предусматривает определённый набор курсов, например, для специалиста в аэрокосмической отрасли. Соответственно, старые машины уже задокументированы и, как говорится, «высечены в камне». Другая причина заключается в том, что

те работодатели, которые берут потом на работу наших студентов, - это крупнейшие компании, в том числе государственные, тоже зациклены на старых машинах. Им важнее, чтобы специалисты могли изготавливать лёгкие алюминиевые сплавы, а не новые композиционные. Кстати, что касается ППС, те преподаватели, которые занимаются исследованиями, ориентированы на будущее, поэтому ППС – это не проблема. Кстати, очень важно сделать так, чтобы передовые профессора работали во взаимодействии со студентами, чтобы рабочие учебные программы пересматривались с учётом прогресса, накопленного в лабораториях.

Соответственно, мы выделили для себя 4 основных принципа трансформации инженерного образования:

- Новые машины и системы. Здесь я имею в виду и IT-системы, и биоинженерию, и материаловедение и т.д. – всё то, чем вы занимаетесь в НИТУ «МИСиС»;
- Способы мышления. Специалисты в сфере образования прекрасно понимают, что способность студентов впитывать знания не такая большая – горизонт внимания ограничен

несколькими месяцами, а не годами. Для чего тогда люди приходят учиться в университет? Не для того, чтобы запомнить какую-то информацию, а для того, чтобы учиться мыслить. Мы решили составить перечень «способов мышления», который хотели бы вложить в головы нашим студентам, и мы разработали план преподавания таких новых способов мышления.

- Исследование и производство. Мы хотим обучать студентов таким образом, чтобы они были созидателями и производителями. Кроме того, некоторые наши студенты будут исследователями, некоторые будут инженерами, другими словами, они все будут создавать что-то новое своими руками. Если студент не знает, по какому карьерному пути он пойдёт, он должен быть готов пойти по любому пути, и мы их готовим к этому.

- Педагогика для цифрового поколения. За последние пару лет сфера моих интересов свелась к тому, как предлагать образование т.н. цифровым аборигенам, цифровому поколению.

Слайд 7. Итак, мы сосредоточились на способах мышления, которые мы будем предлагать нашим студентам. В качестве

примера – мы бы хотели, чтобы наши студенты были экспериментирующими мыслителями, чтобы они выдвигали гипотезы, проектировали эксперименты, научились собирать данные, анализировать данные, делать какие-то выводы. Мы бы хотели, чтобы наши студенты использовали вычислительные технологии – мы же живём в цифровом мире – это то, что помогает нашим студентам собирать и анализировать данные и получать ценную информацию из этих данных. Кстати, аналитическое мышление – это то, что позволяет разбить проблему на под-проблемы. Критическое мышление – это оценка качества собственного процесса мышления по мере того, как вы собираете данные и доказательную базу. Умение учиться необходимо, потому что мы прекрасно понимаем, что студенты не получают в университете весь багаж знаний, необходимый им в жизни.

Слайд 8. Мой дедушка, даже прадедушка в сфере науки, Theodore von Karman как-то сказал: «Учёные исследуют мир, который уже существует; инженеры же создают мир, которого раньше не было». Соответственно, мы хотим

подготовить студентов к тому, чтобы они и как учёные открывали что-то, и создавали руками что-то как инженеры, и это позволит более широко использовать само определение слов «инженерное дело», «инженерное искусство», в отличие от традиционного понимания этого термина.

Слайд 9. Те студенты, которые пришли на обучение в университеты в 2018 году, – это первое поколение, которое мы называем «цифровыми аборигенами». Цифровые аборигены – это молодые люди, у которых всегда были эти устройства, благодаря которым весь мир находится у них в кармане. Это те люди, которые считают, что они могут найти всё, что угодно, в интернете, и умеют это с малых лет.

Этим летом в МТИ я работал вместе со школьниками, и мы с одним из школьников в моей лаборатории разрабатывали новый тип самолёта – это был уже его 20-ый самолёт! У нас были проблемы со стабильностью фюзеляжа, и я спросил его: «Решишь эту задачу?». Он ответил: «Да без проблем! Сейчас я найду программный код».. И я привык к тому, что студенты говорят:

«Сейчас я найду данные», но он мне так и сказал: «Сейчас я найду часть программного кода»! Мало того, что он готов найти все данные о Вселенной у себя в смартфоне, он считает, что можно найти программный код, который описывает всё, что угодно во Вселенной. Он даже не сам пишет программный код, он его ищет! Вот как мыслят цифровые аборигены, и сейчас они приходят к нам учиться.

Наше поколение, кстати, называют цифровыми иммигрантами. Как-то на конференции я сказал об этом, и после ко мне подошёл один профессор, который сказал: «А я, наверное, цифровой нелегальный иммигрант, потому что я вообще не разбираюсь в технологиях».

Но есть и ещё одно поколение, я называю их цифровыми младенцами – это те, кому родители на вопрос: «Почему небо голубое?» отвечают: «Спроси у Siri!». Через пару лет эти дети придут в садики, и это приведёт ещё к одной трансформации образования.

Сейчас мы работаем с цифровыми аборигенами, и возникает вопрос: а в чём проблема? Проблема, на самом же деле, – это

мы, потому что цифровые аборигены знают, как работать с технологиями, но не мы. Поэтому, с моей точки зрения, самое важное, что нам нужно сделать в сфере образования, – это поработать с ППС, чтобы все преподаватели стали хотя бы цифровыми иммигрантами. Вы наверняка слышали о платформах, которые представлены на экране, – это инструменты, направленные на цифровизацию образования, чтобы у студентов была возможность использовать в образовании цифровые платформы. За последние год-два в МТИ появилось много инициатив, направленных на то, чтобы помочь цифровым аборигенам именно на кампусе.

Слайд 10. За последние 25 минут я ни разу не упомянул слова «учебная программа», я, скорее, говорю об идеях. С левой стороны представлены идеи, связанные со всеми нашими заинтересованными сторонами, – это ведущие специалисты, выпускники, работодатели, и так далее. На основе информации от наших стейкхолдеров мы и разработали 4 принципа, о которых я уже говорил. В результате мы придумали следующую идею. С чего же мы начали?

Слайд 11. Я думаю, этот график хорошо описывает то, как строится обучение у вас в НИТУ «МИСиС», – это традиционная учебная программа, ориентированная на предмет, когда на каждом курсе студент изучает какие-то конкретные дисциплины.

Слайд 12. Основная переменная – это степень гибкости, которая заложена в такой подход, потому что студент должен пройти определённый обязательный курс дисциплин. Первое изменение, которое мы внедрили ещё 5 лет назад, когда я ещё работал в Сколтехе в Москве, – мы заложили более высокую степень свободы в традиционную предметно-ориентированную программу. Мы говорили студентам, что они должны пройти дисциплину 1, дисциплину 2, а потом какой-то из модулей дисциплины 3, 4 или 5. У студентов уже появился выбор, и они сами принимали решение, как они будут распределять своё время. 40% учебного времени – это как раз-таки гибкие, необязательные дисциплины. Мы даже ввели отдельную степень по результатам обучения в более широком смысле. К тому же, более гибкий

подход позволял им создавать новые машины и системы, в отличие от традиционной программы.

Слайд 13. Следующее изменение – мы внедрили ряд межкафедральных проектов. Некоторые студенты учатся гораздо лучше, если они реализуют какие-то проекты, а не просто сидят на лекциях. Раз мы уже заложили степень свободы, мы решили дать возможность студентам поучаствовать в ряде проектов – со 2 курса студенты могли на каждом курсе выполнять какой-то проект. 12% учебного времени студенты тратили на участие в проектах. Далее мы решили, что каждый из проектов должен быть сфокусирован на создании новых машин и систем. Проекты являются рамочной образовательной структурой, а дисциплины, предметы являются вспомогательными элементами для реализации проекта. Также было заложено межличностное общение, потому что многие представители работодателей говорили нам, что главная слабость наших студентов в том, что они не могут общаться и работать с другими людьми.

Слайд 14. Таким образом, первая идея – это степень свободы, а вторая – ряд

последовательных проектов по одному направлению. По сути, мы создали ещё одно измерение в образовательных учебных программах. Специализация у нас идёт по вертикали, а проектноориентированный подход является сквозным, то есть, идёт по горизонтали. Третья основная идея – это направления ТОНИД. То есть, мы создали ряд направлений: студент что-то проходит по одному предмету, потом по другому предмету, потом начинает реализацию проекта в рамках одной кафедры, потом в рамках другой кафедры. На выходе студент получает степень такую же, как и в других университетах, разница заключается в том, что наши студенты при этом, благодаря сквозному подходу, участвуют в реализации разных проектов и становятся специалистами по изобретению и проектированию новых машин. В этом основная суть.

Слайд 15. Осенью 2019 года у нас будет уже 5 направлений ТОНИД в МТИ. Я считаю, что оптимальное количество таких направлений – 7-8, чтобы охватить все категории новых машин и систем.

Под автономными машинами мы имеем в виду беспилотные автомобили, летательные аппараты, дроны, робототехнику, в т.ч. ту, которая используется в системе здравоохранения. По сути, студенты и преподаватели заняты в авиации, аэрокосмонавтике, машиностроении, робототехнике и компьютерных технологиях.

Следующее направление – живые машины в буквальном смысле этого слова, это органы на микрочипах. Речь идёт о новых способах диагностики, разработке лекарственных препаратов, которые будут тестироваться уже не на животных, а на искусственно выращенной человеческой ткани. Тут возникает пересечение биоинженерии и машиностроения.

Далее идёт материаловедение – то, чем занимается НИТУ «МИСиС». Сейчас очень быстро меняются технологии производства и появляются новые материалы, но при этом нет синергетического эффекта при объединении этих двух явлений. Здесь заняты, в основном, химики-технологи и специалисты по материаловедению.

Машины по возобновляемой энергетике – солнечная энергетика, энергия ветра, атомная

энергетика. Мы сейчас создаём новую модель экономического развития, которая будет основываться на возобновляемых источниках энергии.

Цифровые города – новое направление, которые мы запустим. Это расширение самого понятия «машины и системы».

Слайд 16. Возникает вопрос: что же студенты получают на выходе? Они получают степень бакалавра и, кроме того, сертификат определённого направления, например, по «Автономным машинам». Студентам нравится этот подход, потому что они могут указать это направление в своём резюме.

Слайд 17. Если говорить о результатах, то осенью 2017 года у нас 39 студентов пришло в программу ТОНИД. Это 5% от общего количества студентов. Осенью 2018 года уже 92 студента пришло в нашу программу, это 12%! Мы хотим, чтобы в нашей программе участвовало 200-300 студентов. И это достижимая цель, потому что всё больше студентов хотят обучаться проектно-ориентированному подходу.

Слайды 18-19. Я хотел бы несколько слов рассказать о том, чему мы учим студентов в рамках наших 5 направлений.

Что касается автономных машин, студенты выбирают себе специализацию в рамках программ Аэрокосмическая отрасль, Материаловедение и Электромеханика, а также они должны поучаствовать в ряде проектов. Первый проект на втором курсе достаточно простой – создание робота закрытого цикла. Далее, на третьем курсе, студенты разрабатывают ПО для мини-болида Формулы 1. На четвёртом курсе они уже должны разработать коммерчески применимые машины, которые будут действовать как единый организм. Если студент получает степень по аэрокосмической отрасли или электротехнике и при этом знает, как спроектировать и создать такие автономные машины, скорее всего, такие машины будут самыми передовыми, а у такого выпускника с трудоустройством не будет никаких проблем.

Слайды 20-21. Живые машины – это микробиомы, кишечная флора на чипе. Три проекта: второкурсники учатся снимать измерения в продвинутых биологических

лабораториях. На третьем курсе они совместно с профессором реализуют НИР по биотехнике. На выходе они должны разработать «живую машину» – орган на чипе.

Слайды 22-23. Следующее направление – это новые материалы и машины. Это пересечение материаловедения – речь идёт о твёрдых материалах (чуть позже будет запущено направление по мягким материалам) – инженерии и машиностроения. Аддитивное производство, материалы, которые будут использоваться при послойном синтезе и всё, что связано с проектированием таких машин. Сейчас у нас около десятка студентов проходят обучение этому направлению.

Слайды 24-25. По возобновляемой энергетике студенты должны реализовать три проекта. Во-первых, они должны привести пример системы возобновляемой энергии, например, изобрести ветряк или гальванические элементы. На третьем курсе они должны изобрести сеть из таких систем возобновляемой энергетике. А на четвёртом курсе мы, на самом деле, ещё сами не определились с тем, какой проект они должны реализовать, но в конце они

должны продемонстрировать уже привлекательную для рынка инновацию, то есть, показать не только технологию, но и проявить предпринимательский дух, продемонстрировав, что такая технология будет продаваться.

Слайд 26. Последнее направление – это цифровые города. Мы дали студентам такое задание: представьте, что кампус МТИ – это цифровой город, и разработайте, пожалуйста, такое решение, которое позволит повысить качество жизни на кампусе в Бостоне, Кембридже и так далее. Студенты должны показать, что их решение пойдёт на пользу всем городским поселениям.

Слайд 27. Наконец, последняя идея, которой я бы хотел поделиться, это то, как мы разработали новые способы мышления. Мы считаем, что экспериментальное, аналитическое, вычислительное, гуманистическое мышление – это то, что лежит в основе образования. Другими словами, все студенты МТИ должны пройти курс по экспериментальному мышлению, 8 курсов по гуманистическому мышлению, целый ряд аналитических курсов, один курс вычислительного мышления. Далее есть

критическое мышление, этическое мышление. Кстати, по поводу этического мышления сейчас идут горячие споры в научном сообществе, потому что есть, в основном, две сферы развития технологий, которые связаны с этическими вопросами – это биоинженерия (нужны ли нам клоны?) и информационные технологии (безопасность, защита персональных данных). Поэтому мы хотим заложить фундамент по этим направлениям для наших студентов. Креативным мышлением занимается кафедра архитектуры, потому что у архитекторов иное понимание креативности, нежели у инженеров.

Слайд 28. В заключение я хотел бы рассказать вам о том, что думают по этому поводу наши студенты. Когда мы спрашивали студентов, почему они пришли в программу ТОНИД, они говорили, что их мотивирует то, что программа ТОНИД сможет помочь им в построении карьеры. Второй аспект их мотивации – это проекты, потому что студенты сами выбирают свои проекты и даже то, участвовать или нет. Наконец, важным аспектом является и создание сообщества – когда студенты приходили в программу ТОНИД, они

чувствовали себя членами некоего закрытого клуба на кампусе сообщества, и им нравилось общаться с преподавателями. Они даже создали студенческое правительство программы ТОНИД, несмотря на то, что мы не просили их об этом, и теперь они уже нам – преподавателям – рассказывают о том, как дальше развивать программу! И я считаю, что это замечательно.

Слайд 29. Спасибо за внимание!