

Комплексная научно-техническая программа  
«Производство и применение белка одноклеточных  
на основе углеводов»



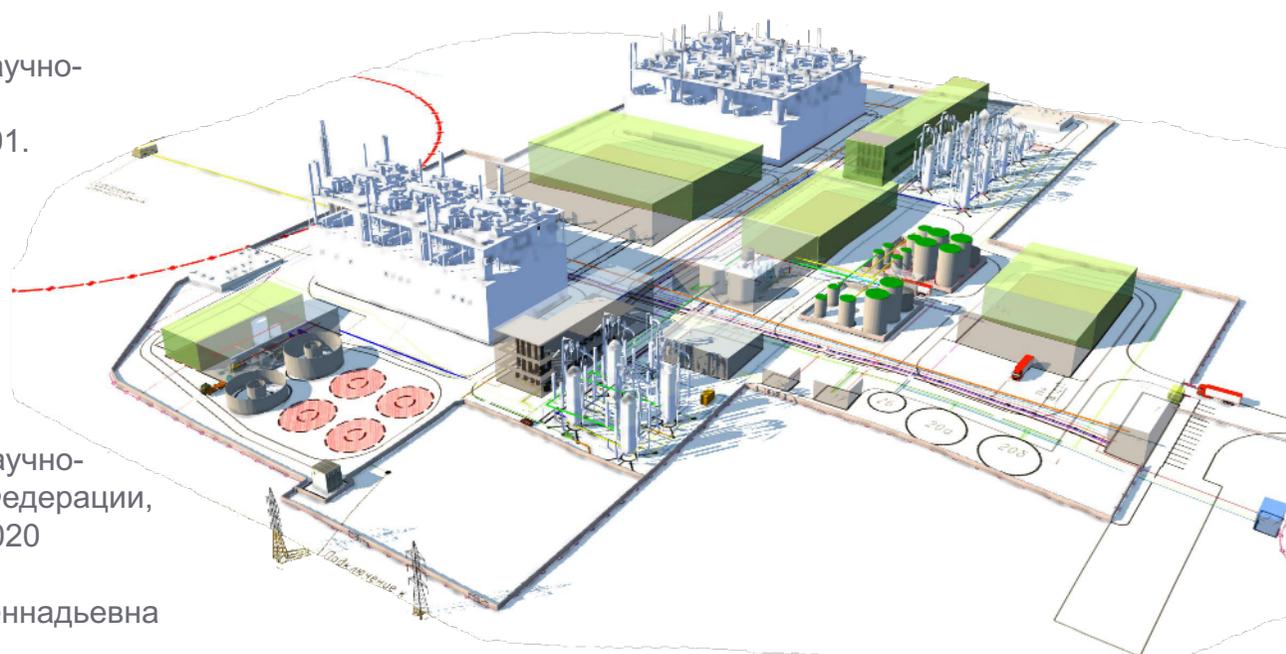
# БИОПРОТЕИН

Совет по приоритетному направлению научно-технологического развития Российской Федерации, заявка N 2020-20(г)-8285-7401.

ноябрь 2020

Совет по приоритетному направлению научно-технологического развития Российской Федерации, заявка N 2020-20(г)-8285-7401, ноябрь 2020

Докладчик: к.ф.-м.н. Низовцева Ирина Геннадьевна



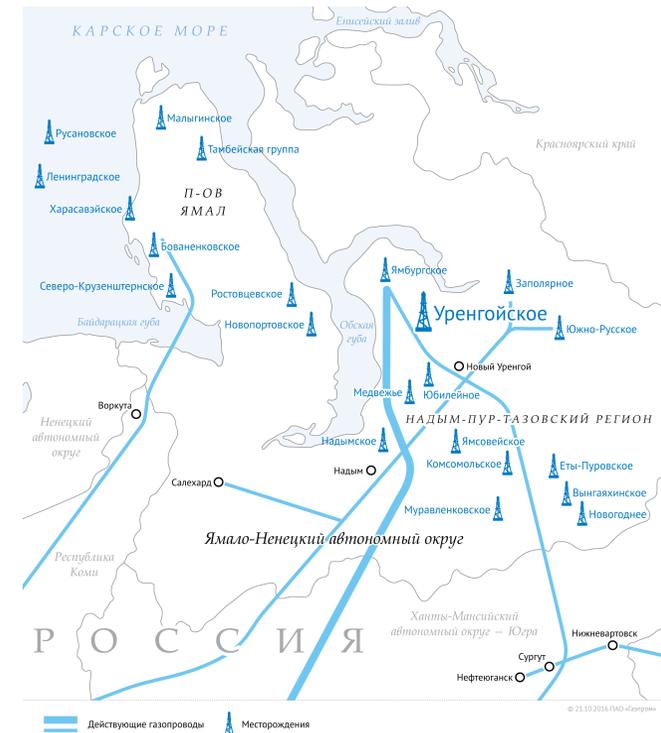
# Идея проекта

- дефицит белка в мире оценивается в десятки миллионов тонн ежегодно;
- дефицит белковых кормов в России около 1 млн тонн;
- рыбная мука производится в объёме 6 млн тонн, предел по объёму производства достигнут;
- белки растительного происхождения – соя, подсолнечник не являются полноценной заменой, соя по большей части ввозится из-за рубежа;
- существует большое количество месторождений природного газа с падающим давлением, который не рентабельно направлять в транспортную систему, но запасы такого газа значительны;
- с такими месторождениями связаны моногорода (Надым, Ухта) – социальная проблема.

Предлагаемый проект основан на технологии многотоннажного производства белка одноклеточных из широко доступных источников сырья, в первую очередь – природного газа.

Проект позволит:

- обеспечить кормовую базу Российского АПК, обеспечить импортозамещение;
- создать экспортный продукт с высокой добавленной стоимостью и широким рынком сбыта;
- обеспечить глубокую переработку природного газа – диверсификацию сбыта;
- решить социальные вопросы моногородов.

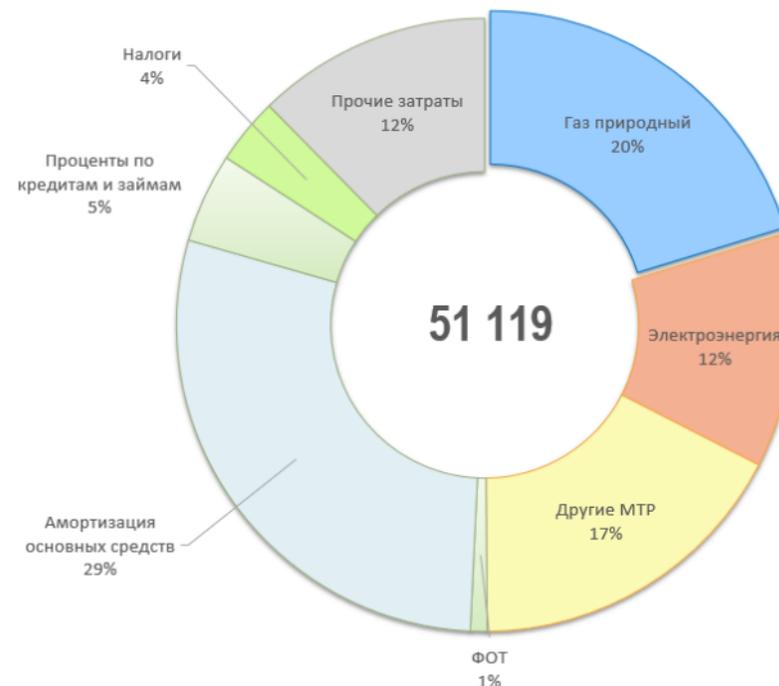


Реализация проекта экономически **целесообразна** при текущих значениях продуктивности процесса, достигнутых на Светлоярском заводе белково-витаминных концентратов и подтвержденных в лабораторных условиях.

Для расчетов приняты **текущие рыночные цены** на природный газ, электроэнергию и прочие ресурсы.

Срок окупаемости **не превышает 7 лет**.

### Структура себестоимости 1 т.г.п.



# Перспективы развития

Мировое потребление соевого шрота составляет 231 млн тонн в год, рыбной муки – 5 млн тонн в год.

БИОПРОТЕИН способен заместить третью часть этих источников протеина, до **78 млн тонн** в год.

Экспортный потенциал БИОПРОТЕИНА оценивается в **94 млрд долларов** в год.

Крупнейшими потребителями протеина являются Евросоюз и Китай.

Юго-восточная Азия производит более чем 90% мирового объёма аквакультуры, БИОПРОТЕИН благодаря своему составу является идеальным источником протеина для рыбных кормов.

Для обеспечения внутреннего потребления белка агропромышленным комплексом России необходимо не менее **10** предприятий, каждое мощностью **120 тыс. тонн** в год.

Экспортный потенциал БИОПРОТЕИНА оценивается в 15-20 млн тонн в год.

Общая стоимость производимой продукции только для внутреннего рынка составит более **108 млрд руб.** в год



# Достигнутые результаты: опытное применение



**Испытание БИОПРОТЕИНА**  
в составе рыбных кормов  
показало результаты,  
превосходящие лучшие  
европейские корма.

Планируется **продолжить опытное применение на различных возрастных группах и видах**, в том числе совместно с Университетом Kindai (Япония) и Цзилиньским Университетом (КНР) для сертификации кормовой добавки.



# Достигнутые результаты: микробиология и генетика

## Определена последовательность генома штамма-продуцента *Methylococcus Sp*

- Проведен анализ метаболических путей;
- Проведен анализ на наличие профага;
- Составлены рекомендации по редактированию генома.

## Проведен молекулярный анализ состава ассоциированных микроорганизмов

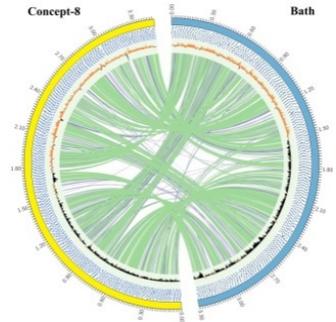
- Идентифицированы бактерии-спутники, отвечающие за утилизацию метаболитов и продуктов лизиса клеток метанотрофа;
- Установлены критически важные компоненты ассоциации.

## Иницированы работы по метаболической инженерии

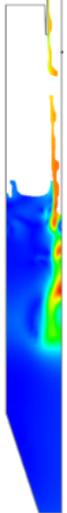
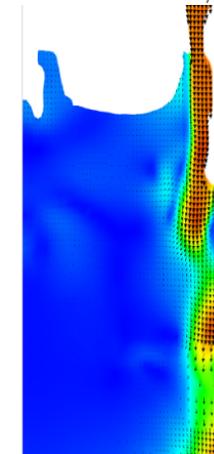
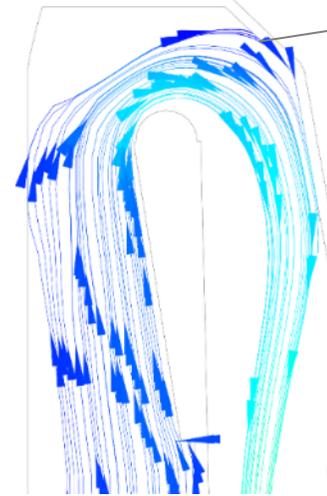
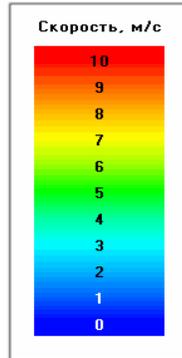
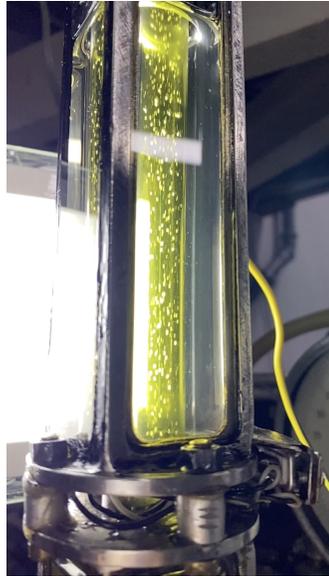
- Получены мутанты с удаленными генами синтеза запасных соединений;
- Ведется анализ их ростовых характеристик.

## Осуществлен выход в режим стабильного культивирования

- Достигнуты целевые показатели по скорости роста ( $0.25 \text{ ч}^{-1}$ ), выходу биомассы ( $4 \text{ г л}^{-1}$ ) и содержанию белка (не менее 71%);
- Получена биомасса для сертификации кормовых свойств.



# Достигнутые результаты: динамика газа и жидкости и массообмен



Проведены экспериментальные и численные исследования **геометрических и гидродинамических характеристик** биореакторов на лабораторных масштабах

Разработана и верифицирована **математическая модель** двухфазных газожидкостных биореакторов

Проведён анализ достижимости ключевых показателей процесса ферментации, в т.ч. определен ряд экспериментальных и, средствами CFD моделирования, прогнозных модельных значений **коэффициента массообмена**.

FlowVision

Определены условия оптимизации массообмена на лабораторном масштабе

# Достигнутые результаты: прототип системы управления процессом ферментации

The screenshot shows a web-based monitoring interface for a fermenter. It features a top navigation bar with 'Обзор' (Overview), 'Журнал' (Log), 'Эксперименты' (Experiments), and 'Справочники' (Reference). The main content area is divided into four data cards: Temperature (41.11 / 44.11, set 42), pH (-19.81 / -38.81, set 5.85), Oxygen (-82.93 / -93.93, set 9), and Stirrer Speed (165 / 300). Below these is a large multi-axis chart showing the trends of Temperature (black), pH (orange), Oxygen (green), and Stirrer Speed (blue) from 08:30 to 14:00. A terminal window at the bottom shows the application's startup logs.

Монитор Лаборатории Пользователи **ИНПО Биосинтез**

### Ферментер с мешалкой 2,5 л // ИНБИ РАН

Обзор Журнал Засевы

Добавить запись Импорт CSV Экспорт в CSV

Дата, Время	pH	t	T,%	OD	Скорость протога	Обороты мешалки	Расход титранта (мл/ч)	Расход метана (мл/ч)	Расход воздуха (мл/ч)	
<b>Methyloccoccus capsulatus CONCEPT 8.29</b>										
2019.07.26 16:00	5.6	42.1	0.0	3.6	0.2	750.0	15.4	200.0	2100.0	Изменить Удалить
2019.07.26 08:00	5.6	42.1	0.0	3.6	0.2	750.0	15.4	200.0	2100.0	Изменить Удалить
2019.07.26 07:00	5.6	42.4	0.0	3.6	0.2	750.0	11.0	200.0	2100.0	Изменить Удалить
2019.07.26 06:00	5.5	42.3	0.0	3.6	0.2	750.0	10.0	200.0	2100.0	Изменить Удалить
2019.07.26 05:00	5.7	42.3	0.0	3.6	0.2	750.0	24.0	200.0	2100.0	Изменить Удалить
2019.07.26 00:00	5.5	42.3	0.0	3.6	0.2	750.0	6.0	200.0	2100.0	Изменить Удалить

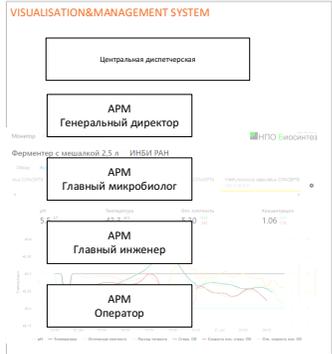


# Цифровая платформа для управления производством

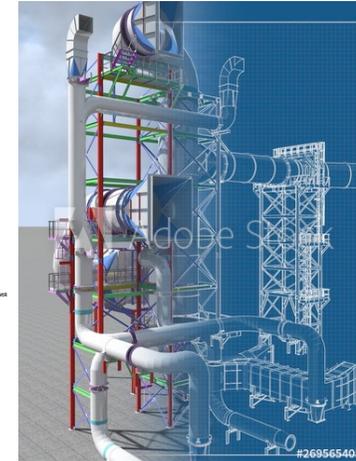
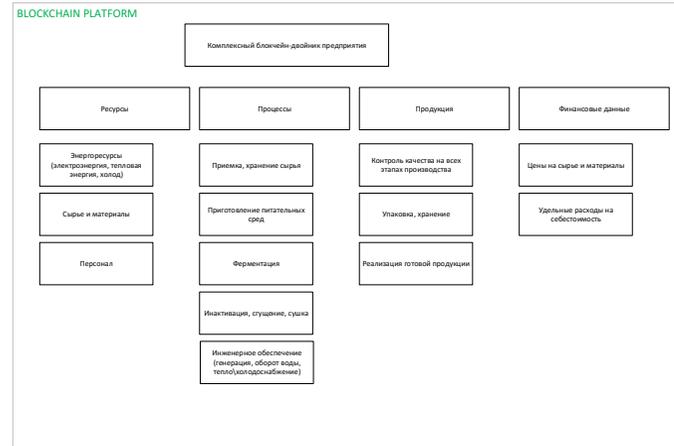
project

BIOPROTEIN

BIOTECHNOLOGY DIGITAL PLATFORM



Цифровая платформа  
БИОПРОТЕИН



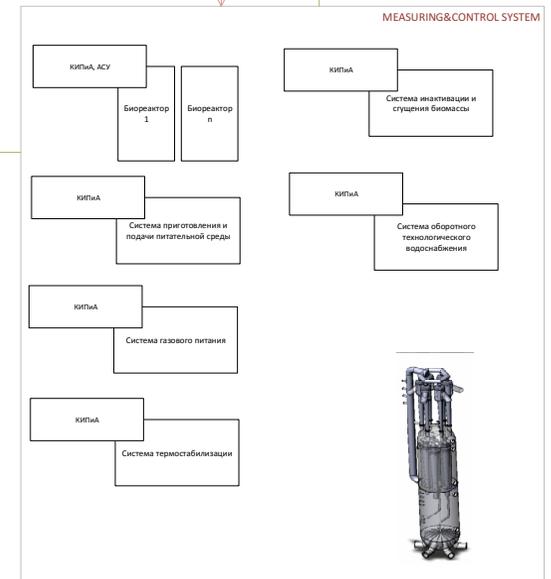
Экспертная система принятия решений

**SPECIAL ALGORITHMS UNIT**

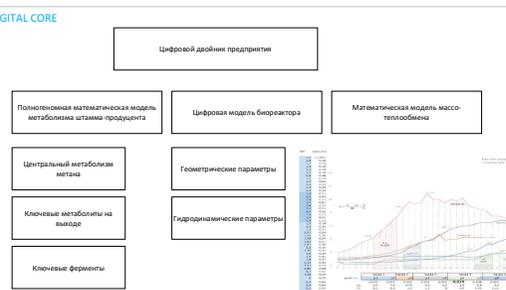
- Специальные режимы и алгоритмы
- Режим переменной аэрации
- Режимы вывода на проток по второй производной
- Режим высокого кислородного потока

Блок анализа телеметрии и подготовка исходных данных, в том числе корректировка телеметрии и генерация необходимых вычисляемых данных

- Модуль Анализа целостности и достоверности исходных данных
- Модуль корректировки и восстановления исходных данных
- Модуль подготовки исходных вычисляемых данных на основе телеметрии



Система глубокого машинного обучения на базе искусственных нейронных сетей



# Интеллектуальная система управления процессом на основе полногеномной модели промышленного штамма-производителя

Methylococcus capsulatus

Go

35%

Category title

Pathway module

Carbohydrate metabol

Central carbohydrate

M00001 Glycolysis

M00002 Glycolysis

M00003 Gluconeos

M00307 Pyruvate c

M00009 Citrate cy

M00010 Citrate cy

M00011 Citrate cy

M00004 Pentose p

M00006 Pentose p

M00007 Pentose p

M00580 Pentose p

M00005 PRPP bios

M00008 Entner-Dc

M00308 Semi-pho

M00633 Semi-pho

M00309 Non-phos

Other carbohydrate r

M00014 Glucurona

M00630 D-Galactu

M00631 D-Galactu

M00061 D-Glucuro

M00081 Pectin deg

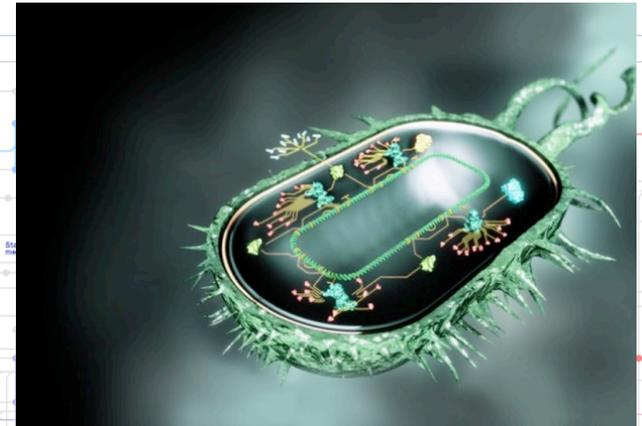
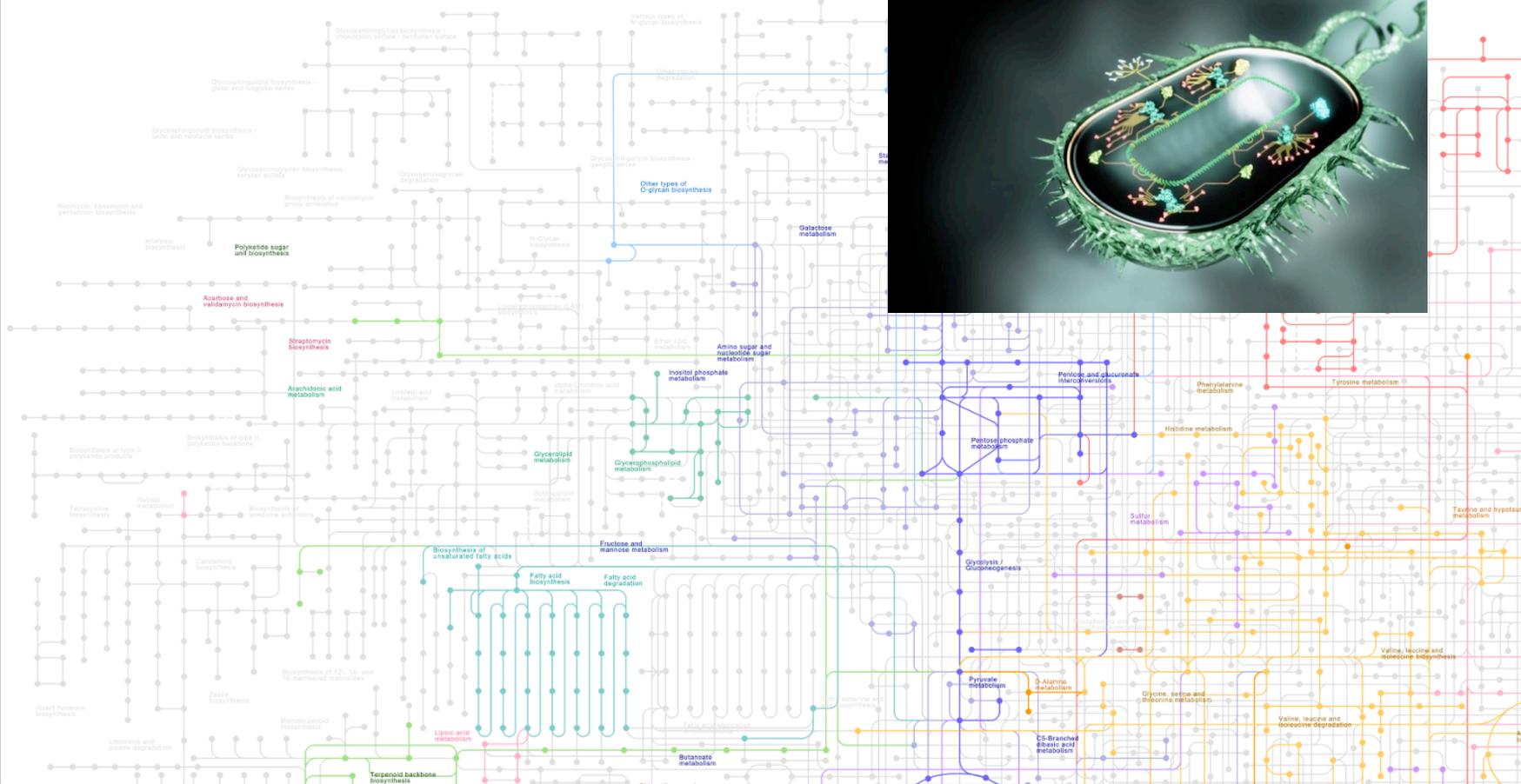
M00632 Galactose

M00552 D-galacto

M00129 Ascorbate

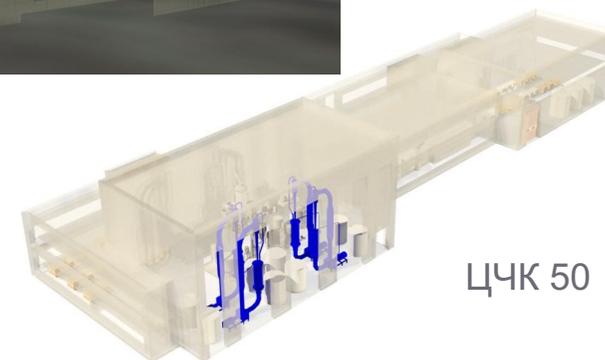
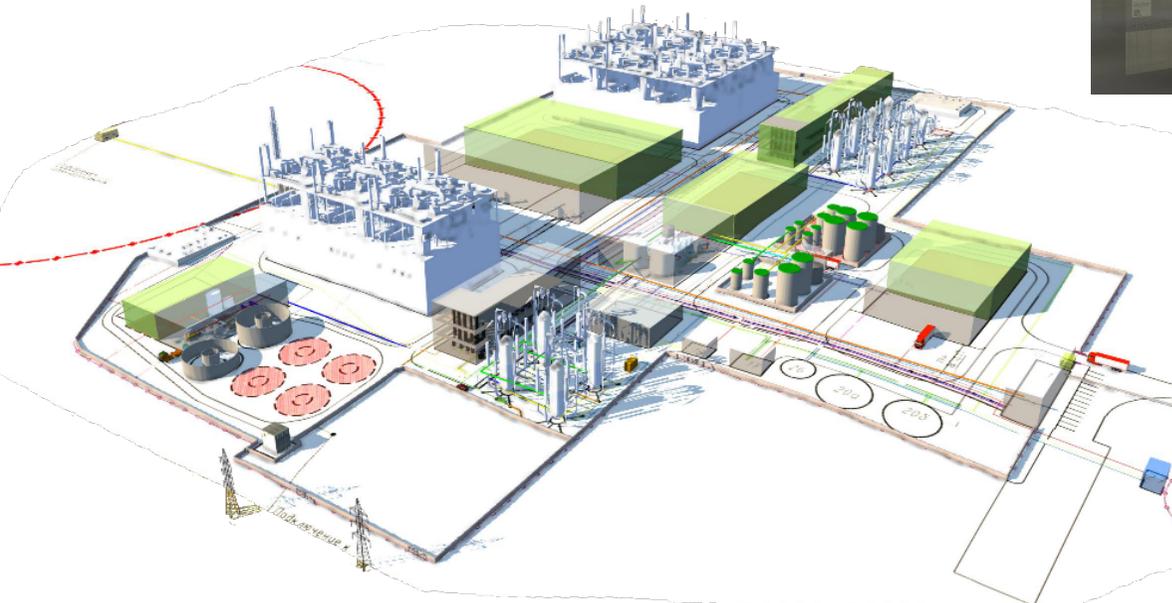
M00114 Ascorbate

M00552 D-galacto



# Текущие задачи

Проектирование ЦЧК и головного предприятия.



ЦЧК 50

Завод  
БИОПРОТЕИН 120

Согласование схемы  
финансирования  
проекта находится на завершающей  
стадии



РОССИЙСКО-ЯПОНСКИЙ  
ИНВЕСТИЦИОННЫЙ ФОНД



РОССИЙСКИЙ ФОНД  
ПРЯМЫХ ИНВЕСТИЦИЙ



ВНЕШЭКОНОМБАНК



ГАЗПРОМБАНК



Инновации

# Направления исследований Проекта в рамках КНТП



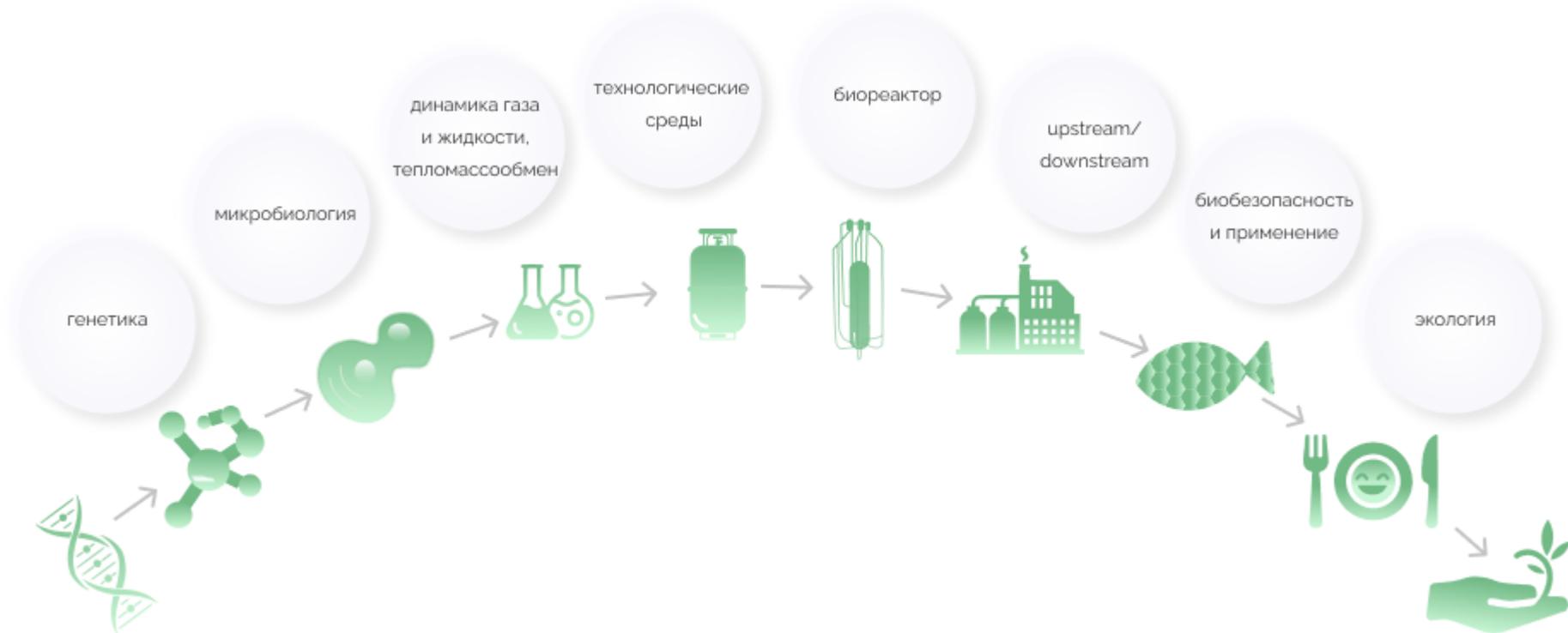
**1.1** Реализация комплексной программы НИОКР по масштабированию технологии получения белка из природного газа для промышленного производства.

**1.2** Разработка и внедрение цифровой платформы управления процессом биосинтеза на основе нейронных алгоритмов выбора оптимальной конкурентной модели в режиме реального времени.

**1.3** Верификация результатов 1.1 и отработка модулей 1.2 на лабораторных, пилотных и производственных установках опытно-экспериментальной базы Центра Чистой Культуры

**1.4** Представление результатов в научном сообществе (публикации в научных журналах, патентное сопровождение, организация и участие в профильных мероприятиях).

# Направления исследований Проекта в рамках КНТП (2)



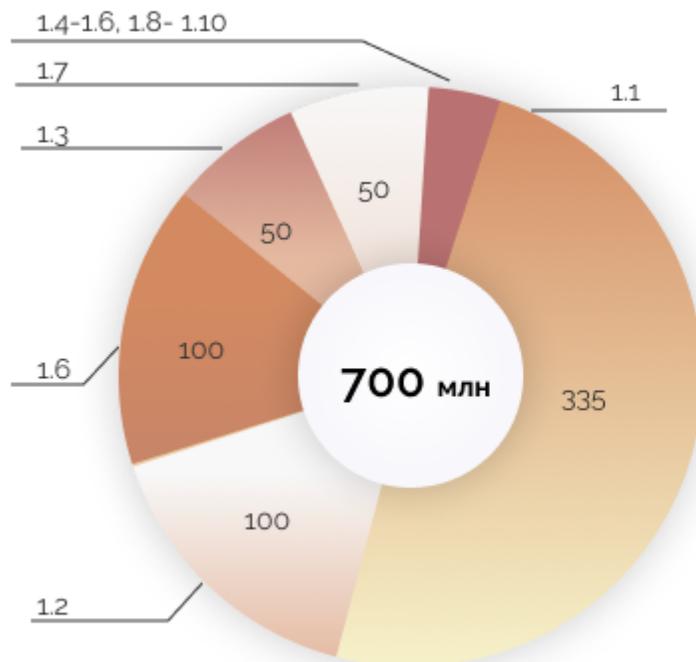
1.5 Научная экспертиза новых (разрабатываемых и привлекаемых) технологических, аппаратных и программных решений и их поставщиков.

1.6 Разработка регламентированных пакетных решений по адаптации ассоциации микроорганизмов и технологических решений для масштабирования проекта.

1.7 Разработка предложений по реализации сопутствующих технологий, основанных на биотех мощностях (глубокая переработка, косметика и парфюмерия, фармацевтика, полимеры и катализаторы).

1.8 Разработка стратегии и формирование комплексной программы НИОКР GII.

# Структура затрат для направлений исследований Проекта 1-8

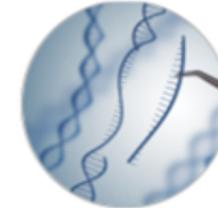


структура расходов по задачам направления  
 структура расходов по статьям затрат

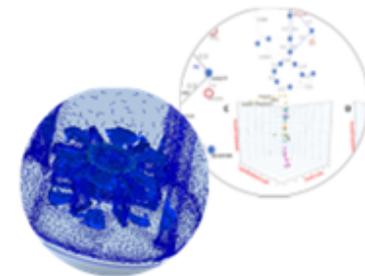
# Детализация планируемых работ и исследований на примере направления 1

- Метаболическая оптимизация штамма-продуцента;
  - Достижение скорости роста  $0.29 \text{ ч}^{-1}$  и выхода биомассы более  $16 \text{ г л}^{-1}$ ;
  - Подбор бактерий-спутников, утилизирующих гомологи метана;
  - Дизайн и редактирование состава промышленной ассоциации.
- 
- Создание математической модели метаболизма штамма-продуцента и ключевых спутников;
  - Создание матмодели двухфазной среды для автоматического управления работой биореактора;
  - Разработка полнофункциональной цифровой платформы для управления биосинтезом.
- 
- Отработка оптимальных режимов upstream & downstream (разделение, инактивация, сушка);
  - Оптимизация оборотного водоснабжения (возврат ОКЖ и БОВ);
  - Разработка стандартов экологической безопасности производства.

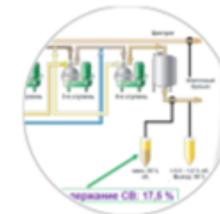
## Оптимизация штаммов-продуцентов



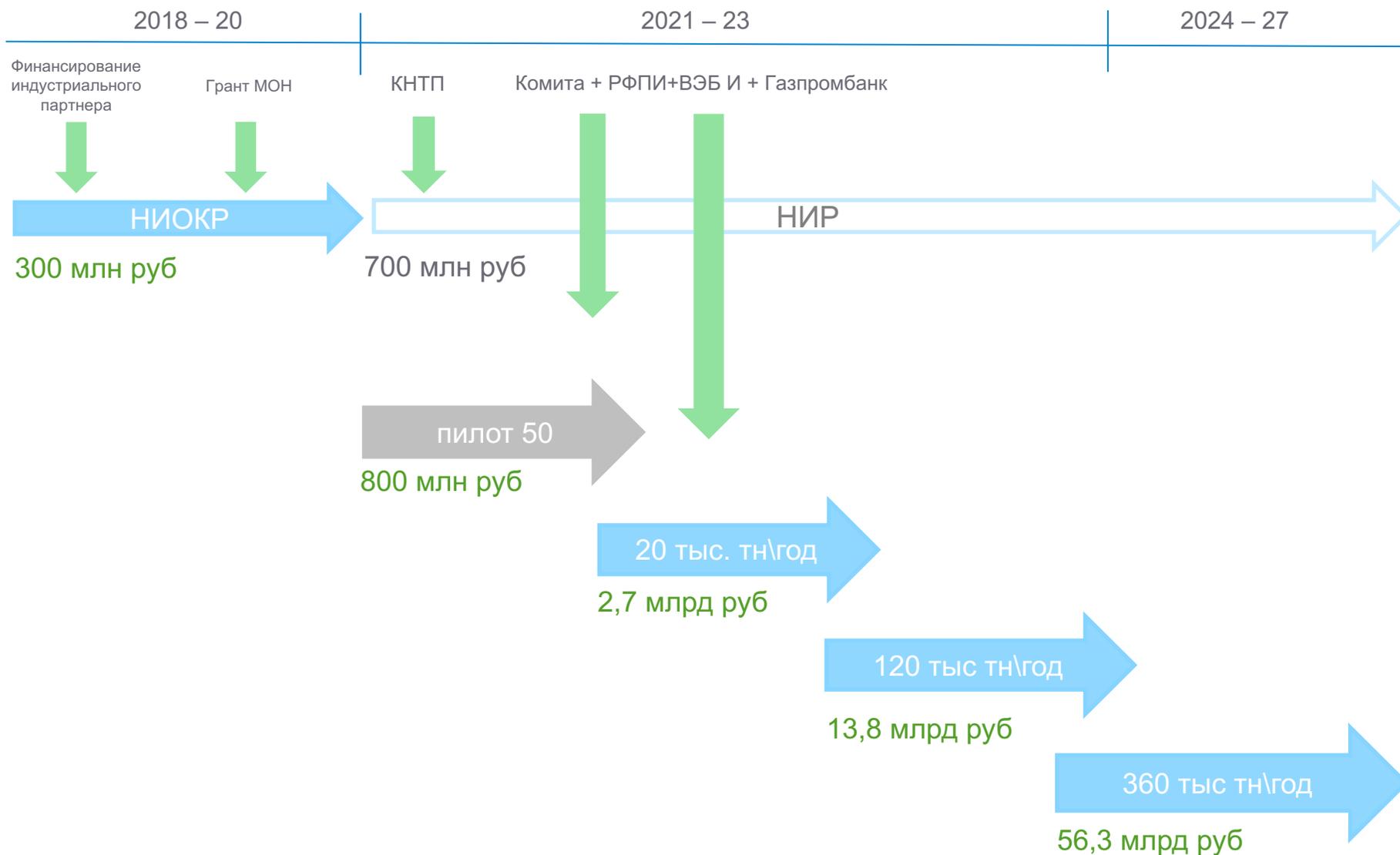
## Математическое моделирование массобмена и метаболизма



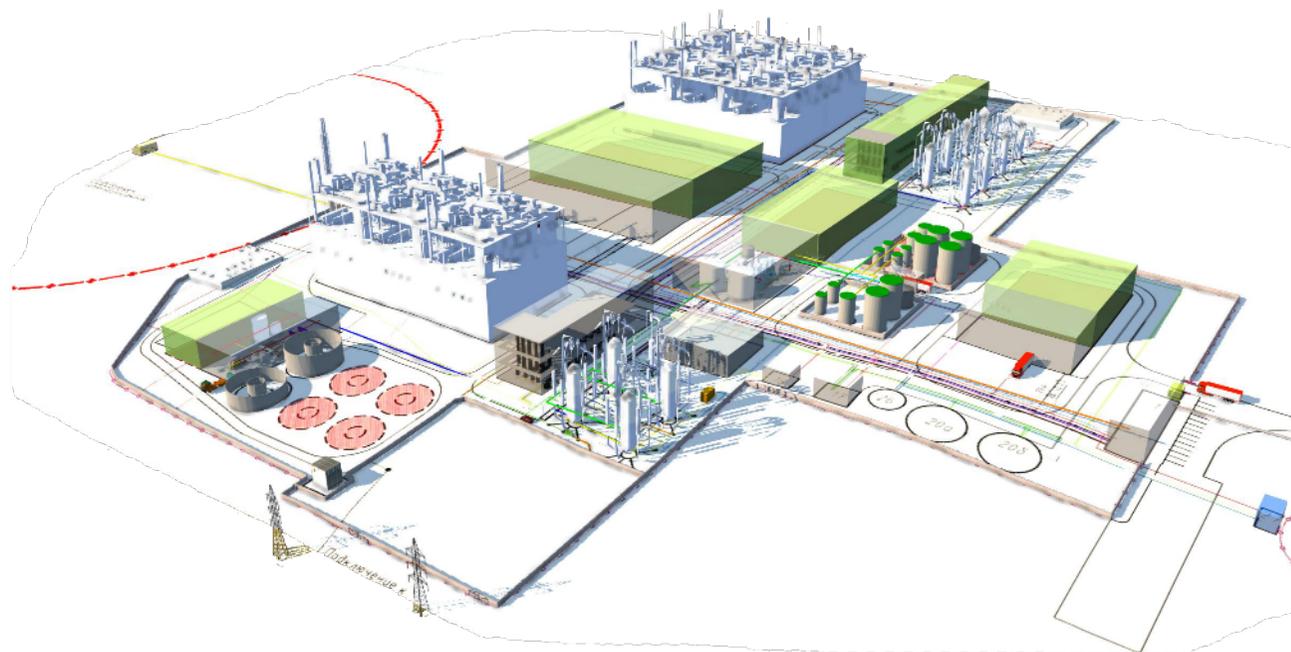
## Отработка downstream



# График проекта



Комплексная научно-техническая программа  
«Производство и применение белка одноклеточных  
на основе углеводов»



Совет по приоритетному направлению научно-технологического развития Российской Федерации, заявка N 2020-20(г)-8285-7401, ноябрь 2020

Докладчик: к.ф.-м.н. Низовцева Ирина Геннадьевна