

# КОРМОВАЯ МИССИЯ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

С. ГЛУХИХ, Центр промышленного внедрения прикладных разработок НИИ РАН «БИОЦЕНТР-САС»

## МЕТАН УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ — ПОСТОЯННЫЙ СПУТНИК ШАХТНОЙ ДОБЫЧИ УГЛЯ

В целях безопасности при угледобыче метан угольных пластов капируют из шахт на поверхность с помощью вентиляционных установок. Газообильность угольных пластов зависит от глубины их залегания, мощности, структуры и многих других параметров. Геологические ресурсы метана угольных пластов в мире оцениваются в объеме 260 трлн м<sup>3</sup>, в том числе 78 трлн м<sup>3</sup> в России. Прогнозные ресурсы метана только в основных угольных бассейнах России составляют 49 трлн м<sup>3</sup>, что соответствует примерно пятой части прогнозных ресурсов природного газа страны. В настоящее время в большинстве угледобывающих стран шахтный метан выбрасывается в атмосферу, в лучшем случае сжигается. В результате добычи угля только в Китае выбросы метана в атмосферу Земли составляют 6–19 млрд м<sup>3</sup> в год.

Постепенно намечается тенденция внедрения технологического полезного использования шахтного метана, его подвергают когенерационному сжиганию с получением тепла и электроэнергии, превращают в жидкое топливо. Шахтный метан может помочь «накормить» нас, если мы для этого создадим необходимые условия. Но на первом этапе необходимо сделать все для того, чтобы он не мешал угледобыче, не создавал в шахтах чрезвычайных ситуаций.

В 30-х годах прошлого века в нашей стране впервые в мире для борьбы с метаном в угольных шахтах применили метанооксиляющие микроорганизмы — метанотрофные бактерии. Сущность метода заключается в обработке угольного пласта суспензией метанооксиляющих микроорганизмов и создания в пластовых условиях благоприятной физико-химической обстановки для их активной жизнедеятельности. Проникая через поровый объем пласта, микроорганизмы интенсивно поглощают метан, содержащийся в угле, и тем самым создают более безопасные условия для работы шахтеров.

На действующих шахтах из капируемого на поверхность метана возможно получение белково-витаминного концентрата (БВК) гаприн для использования в рационе животных (подробнее в статье «Метан угольных пластов и шахт — источник кормового белка», ж. «Комбикорма», №5'2015, с. 39–42). Но наибольший промышленный интерес представляют еще не введенные в угледобывающую эксплуатацию угольные пласты.

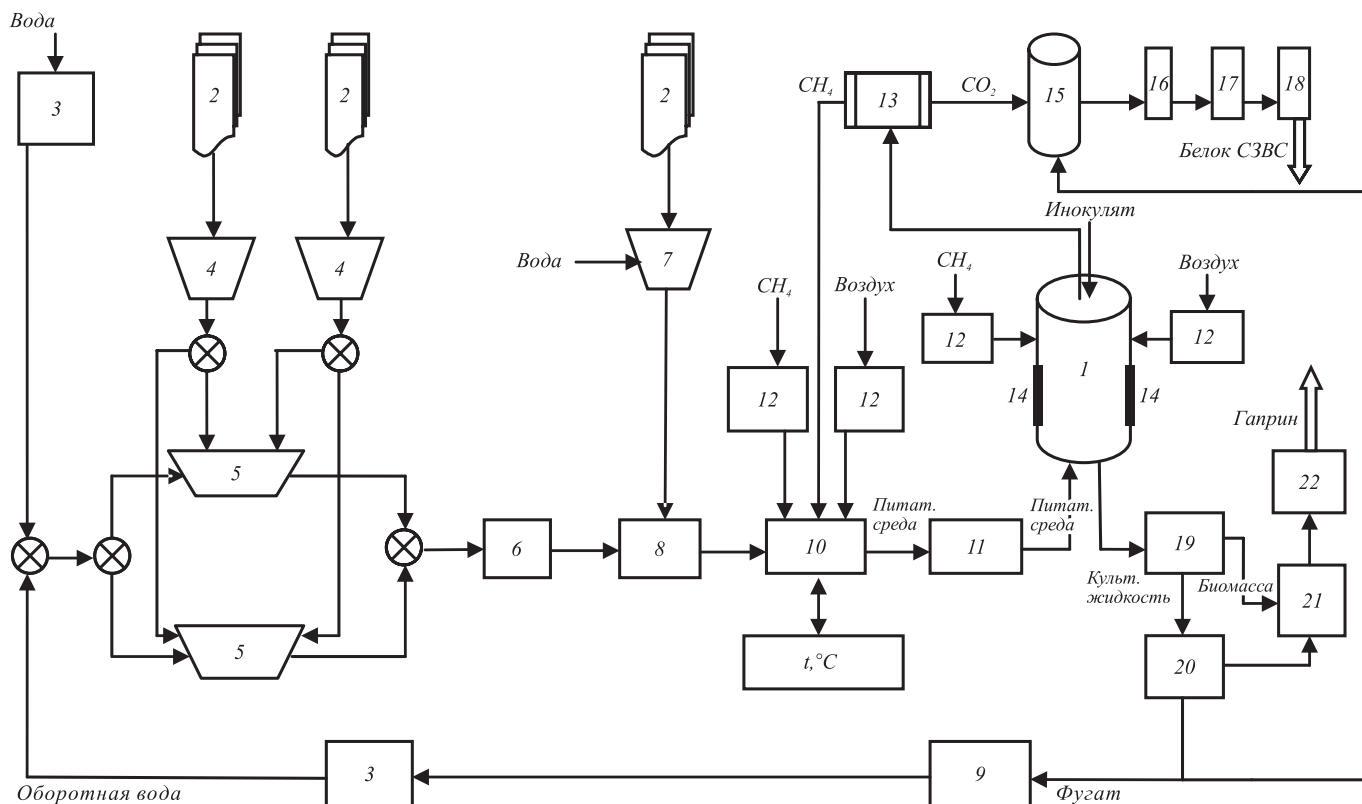
Промышленная добыча метана из угольных пластов в мире началась в 1980-х годах. Среди угольных бассейнов

России особое место принадлежит Кузбассу, который по праву можно считать крупнейшим метаноугольным бассейном мира, обладающим реальными возможностями широкомасштабной добычи метана. Неслучайно в России принята программа «Метан Кузбасса». Кузбасс может производить около 20 млрд м<sup>3</sup> метана ежегодно. Такого объема достаточно для обеспечения средней европейской страны или соответствующего ей региона России. Его запасы здесь оцениваются в 13 трлн м<sup>3</sup>. Данная оценка ресурсов угля и метана соответствует глубине 1800–2000 м. Большие глубины угольного бассейна сохраняют на отдаленную перспективу огромное количество метана, которое прогнозируется более чем в 20 трлн м<sup>3</sup>. Ряд угледобывающих регионов мог бы полностью покрыть свои потребности в газе за счет широкомасштабной добычи метана из угольных пластов, улучшив экологию и открыв новые рабочие места. Это в первую очередь относится к Кемеровской области, где можно обеспечить ежегодную коммерческую добычу до 15–17 млрд м<sup>3</sup> газа. Кемеровская область первой в России применила передовую технологию по извлечению метана из угольных пластов — горизонтальное бурение скважин. Кузбасс первым в России начал использовать опасный метан, главного «врага» шахтеров, в мирных целях. Дегазация угольных пластов в действующих шахтных выработках значительно повысила безопасность добычи угля.

## БИОСИНТЕЗ ГАПРИНА НА КАПИРОВАННОМ МЕТАНЕ ШАХТ И УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

В советское время для выполнения дегазационных работ методами биотехнологии биомассу доставляли с Светоярского завода. Транспортировка неинaktivированной биомассы на тысячи километров снижала ее метаноокислительную активность. В связи с этим в профильных НИИ были выполнены комплексные работы по использованию шахтного метана для получения биомассы метанотрофных бактерий непосредственно на местах угледобычи. Экспериментальная установка для культивирования метанооксиляющих бактерий на шахтном метане впервые была испытана в условиях действующей шахты. Биомасса применялась для дегазации шахты и приготовления корма для животных в регионе.

При анализе химического состава скважных технических вод установлено, что они практически стабильны. Сравнение с комплексом химических элементов, необходимых для жизнедеятельности метанооксиляющих бакте-



**Рис. 1. Принципиальная схема технологической установки биосинтеза на каптированном метане:**

1 — ферментер; 2 — расходные контейнеры-дозаторы; 3 — узел водоподготовки-стерилизатора; 4 — смесители ингредиентов питательной среды; 5 — расходные емкости водных растворов; 6 — стерилизатор питательной среды; 7 — смеситель-стерилизатор биогенного питания; 8 — аппарат окончательного формирования питательной среды; 9 — автоматический анализатор химического состава оборотной воды; 10 — система охлаждения питательной среды и предварительного растворения газов; 11 — напорный насос подачи питательной среды; 12 — газовые фильтры; 13 — фильтр разделения газов; 14 — многослойный инжектор газа; 15 — фотобиореактор; 16 — сепаратор сине-зеленой водоросли спирулины (СЗВС); 17 — сушилка для СЗВС; 18 — ручное устройство таблетирования СЗВС; 19 — центрифуга обработки культуральной жидкости; 20 — фильтр фугата; 21 — сушилка для биомассы; 22 — гранулятор

рий, показало, что применение в ферментерах технической воды из скважин не только технически возможно, но и экономически выгодно, так как эта вода содержит еще и достаточное количество необходимых микроэлементов.

На рисунке 1 представлена принципиальная схема одного из вариантов технологической установки биосинтеза на каптированном метане. Метан и воздух после прохождения фильтров (12) поступают в систему охлаждения питательной среды и предварительного растворения газов (10). С помощью напорного насоса (11) питательная среда подается в ферментер (1). При невозможности исключить выход ферментационных газов используется фильтр для разделения газов (13) с последующим направлением метана на смешивание, а углекислого газа — на синтез биомассы сине-зеленой водоросли спирулины (СЗВС). Из культуральной жидкости на центрифуге (19) отделяется биомасса, далее она сушится (21) и гранулируется (22).

Фугат, полученный после выделения биомассы, нормализуется и используется в системе оборотного водоснаб-

жения. Система формирования питательной среды состоит из узла водоподготовки (3), контейнеров-дозаторов (2), смесителей (4), расходных емкостей (5), стерилизаторов (6, 7) и аппарата окончательного формирования питательной среды (8).

### КАЛЬКУЛЯЦИЯ ЗАТРАТ НА БИОСИНТЕЗ ГАПРИНА НА ШАХТНОМ МЕТАНЕ

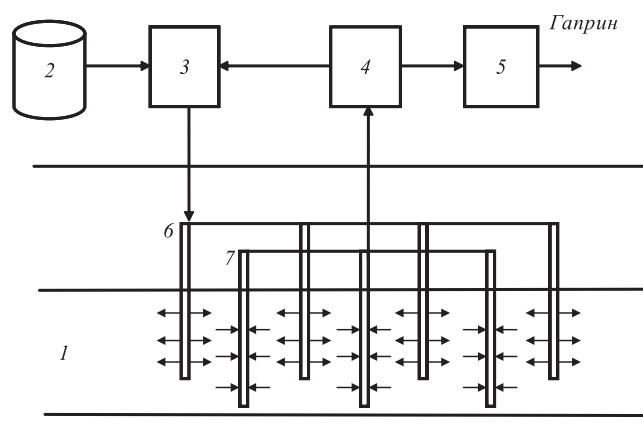
При производственной мощности технологической установки 3500 т продукта в год и использовании одного ферментера с рабочим объемом 100 м<sup>3</sup> ориентировочная себестоимость гаприна составит (тыс. €/год): вспомогательные материалы — 95,70; вода и канализация — 73,23; тепловая энергия — 275,47; электроэнергия — 706,41; заработная плата персонала — 32,20; отчисления на социальное страхование — 12,07; отчисления в пенсионный фонд — 0,64; амортизационные отчисления — 258,02; кислород — 1552,13; химреактивы — 211,32; прочие неучтенные расходы — 321,69; всего — 3538,88. Следовательно, себестоимость 1 т белка — 1011 €; при использовании воздуха вместо кислорода она составит 567 €. Вариант

использования капируемой метано-воздушной смеси в объеме  $90 \text{ м}^3/\text{мин}$  со средней концентрацией метана 30% является экономически выгодным. При этом объем капируемого метана в пересчете на чистый метан составит 15 768 тыс.  $\text{м}^3/\text{год}$ , из него будет произведено 3500 т гаприна в год. При рентабельности производства 32% срок окупаемости строительства ферментационной установки составит около 3 лет. При наличии высокого дебита источника метана мощность производства гаприна можно увеличить кратно (на 3500 т в год), вводя в эксплуатацию дополнительный ферментационный аппарат. Данный подход к решению задач безопасности угледобычи и защиты экологии одновременно способен обеспечить региональные комбикормовые производства эффективным и безопасным балансирующим белком животного происхождения, способствуя тем самым интенсивному развитию животноводства, птицеводства и рыборазведения.

### ПОДЗЕМНЫЙ ПЛАСТОВЫЙ МЕТАНОТРОФНЫЙ БИОРЕАКТОР

Извлечение метана из недр, где его концентрация наиболее высокая, еще до строительства шахты сводит метановую опасность угледобычи практически до нуля. Но стоит ли поднимать на поверхность шахтный метан, если на поверхности пока еще нет инфраструктуры его транспортировки или использования? Может быть, стоит на время обнуления метановой генерации угольного пласта превратить сам пласт в метанотрофный геореактор? Все необходимые условия для этого имеются: температура пласта и давление в нем постоянны, и для них можно выбрать соответствующие производственные метанотрофные культуры (выше было сказано о приемлемости для биосинтеза местных технических вод, которые могут быть основой питательной среды). Биогенные питательные вещества и воздух для микробного дыхания можно подать с поверхности. Избыточное количество метана тоже не является проблемой, так как это для бактерий не ингибирующий фактор. Данный подход может стать следующим отечественным прогрессивным шагом внедрения биотехнологии метанотрофной гидропромывки угольных пластов с целью дальнейшей безопасной угледобычи, которая представляет собой природоподобную биотехнологию. По сути это подземный пластовый биореактор хемостатного биосинтеза гаприна, у которого предферментационные и постферментационные функции остались на поверхности. Эти функции оформляются в виде мобильного мультимодального комплекса, который после метанотрофной промывки одного угольного пласта, может быть легко перемещен на другой угольный пласт с целью обнуления его метаногенности и для продолжения бесперебойного обеспечения гаприном комбикормовых заводов. Этот же мобильный комплекс может применяться и при переработке попут-

ного нефтяного газа (ПНГ) малодебитных нефтяных месторождений. При этом все процессы, происходящие в обычном биореакторе, переносятся в угольный пласт (1) с интенсивным протоком через него обогащенной воздухом культуральной жидкости. Замкнутый контур рециркуляции культуральной жидкости включает в себя закачные скважины (6), подготовленный к промывке угольный пласт, откачные скважины (7), аппарат разделения фаз (4), узел обогащения питательной среды (3), узел постферментационной обработки твердой фазы (5) с доведением ее до товарной формы и упаковки целевого продукта и стартовый инокулятный ферментер (2) подготовки производственной культуры, работающий на этапе запуска процесса (рис. 2).



**Рис. 2. Принципиальная схема производства гаприна на базе подземного пластового метанотрофного биореактора:**

1 — угольный пласт; 2 — стартовый инокулятный ферментер; 3 — узел обогащения питательной среды; 4 — аппарат разделения фаз; 5 — комплекс постферментационных технологий; 6 — закачные скважины; 7 — откачные скважины

В данной технологии при выборе производственной культуры необходимо учитывать температуру угольного пласта, его фильтрационные и проточные свойства, градиент давления структуры пласта, мощность пласта и потенциальный дебит метана из него, его морфологию и условия залегания, физико-механические свойства, в частности трещиноватость. При формировании подземного пластового метанотрофного биореактора должно быть предусмотрено предотвращение вертикальных и горизонтальных утечек культуральной жидкости с использованием уже существующих технологий, а также оптимальные схемы расположения и работы закачных и откачных скважин, насосные либо эрлифтные способы откачки. По мере эксплуатации пластового метанотрофного геореактора с целью поддержания высокой продуктивности производства и более глубокого обнуления метановой генерации из угля необходимо производить обрушение пластов, в том числе методом гидроразрыва пласта. ■