

Этап 4

Разработаны регламенты приготовления Ru-содержащих катализаторов с различными кислотно-основными свойствами на основе модифицированного макропористого сепиолита, микро-мезопористого цеолита ZSM-5 и графитоподобного материала Сибунит-4, окисленного влажным воздухом, для процесса деполимеризации и трансэтерификации лигнина в среде этанола в сверхкритических условиях. Нарботана партия катализаторов для экспериментальных исследований на лабораторном стенде переработки ЛЦ-биомассы. Результаты каталитических экспериментов показали влияние кислотно-основной природы катализаторов на выход и состав жидких продуктов деполимеризации лигнина в сверхкритических условиях.

Проведены исследования по разработке подходов к трансформации термофильных дрожжей, на основе которых получены рекомбинантные штаммы, продуцирующие изобутанол. Определены статистически важные параметры (аэрация, pH, температура и концентрация глюкозы), оказывающих влияние на параметры ферментации. Разработаны методики культивирования рекомбинантных штаммов и методика определения концентрации изобутанола. По результатам лабораторных испытаний выделены 2 образца рекомбинантных штаммов термофильных дрожжей, обладающих наибольшим выходом по изобутанолу ($Y_{ib/s} = (6,47 \pm 0,11) \times 10^{-4}$ г/г и $Y_{ib/s} = (7,64 \pm 0,12) \times 10^{-4}$ г/г).

Иностраным партнером проведены исследования по выделению новых микроорганизмов, продуцирующих гликозил-гидролазы и термофильные дрожжи, растущие на субстратах C6 и C5 сахарами, по морфологическим признакам являющимися *Kluveromyces* sp. Наибольшей продукцией этанола (>7 г/л) обладали 4 изолята. Проведены исследования по масштабированию процесса ферментативного гидролиза и ферментации, выделены и охарактеризованы гликозил-гидролазные ферменты. Исследован процесс ферментативной деполимеризации лигнина в кавитационном гидродинамическом реакторе. Показана высокая эффективность этого подхода для делигнификации биомассы.

Основная новизна использованного в проекте подхода состоит в концепции комплексной переработки отходов ЛЦ-биомассы, объединяющей новейшие механические, нанокаталитические и биотехнологические методы, основанные на разработках авторов проекта, для получения целого набора востребованных в химической, нефтехимической, топливной и других отраслях промышленности продуктов (глюкоза, ксилоза, 5-гидроксиметилфурфуrol, изобутанол, этанол, алкиларильные эфиры). Комплексный подход к переработке ЛЦ-биомассы позволит повысить экономическую эффективность процесса в целом благодаря: использованию продуктов одних процессов в качестве субстратов и реагентов в других; упрощению процессов за счет стадий выделения продуктов, уменьшению логистических затрат. Кроме того, новыми являются следующие научно-технологические решения:

- твердые Ru-содержащие катализаторы на основе носителей с разными кислотно-основными свойствами для процесса деполимеризации и трансэтерификации лигнина, позволяющие получать ароматические мономеры с высоким выходом (выше 50 %), превышающим требования технического задания;
- в ходе работ по этапу получены новые штаммы термотолерантных дрожжей, продуцирующих изобутанол. В целом, достигнутые показатели по изобутанолу соответствуют аналогичным показателям для других штаммов. Использование

термофильных штаммов дрожжей позволяет снизить себестоимость получения продуктов ферментации (спиртов) за счет отсутствия необходимости охлаждения ферментационной жидкости. Штаммы-продуценты на основе *H. polymorpha* обладают научной новизной.

В ходе выполнения данного этапа проекта проведены все заявленные работы, согласно плану-графику и техническому заданию соглашения о предоставлении субсидии № 14.613.21.0017 г. Получение новых рекомбинантных штаммов термофильных дрожжей, несомненно, является актуальным для биотехнологии. Полученные результаты сопоставимы с результатами аналогичных работ, определяющими мировой уровень, а по некоторым параметрам существенно превосходят аналогичные работы.

Руководитель работ по проекту, научный руководитель ИК СО РАН, академик В.Н.Пармон