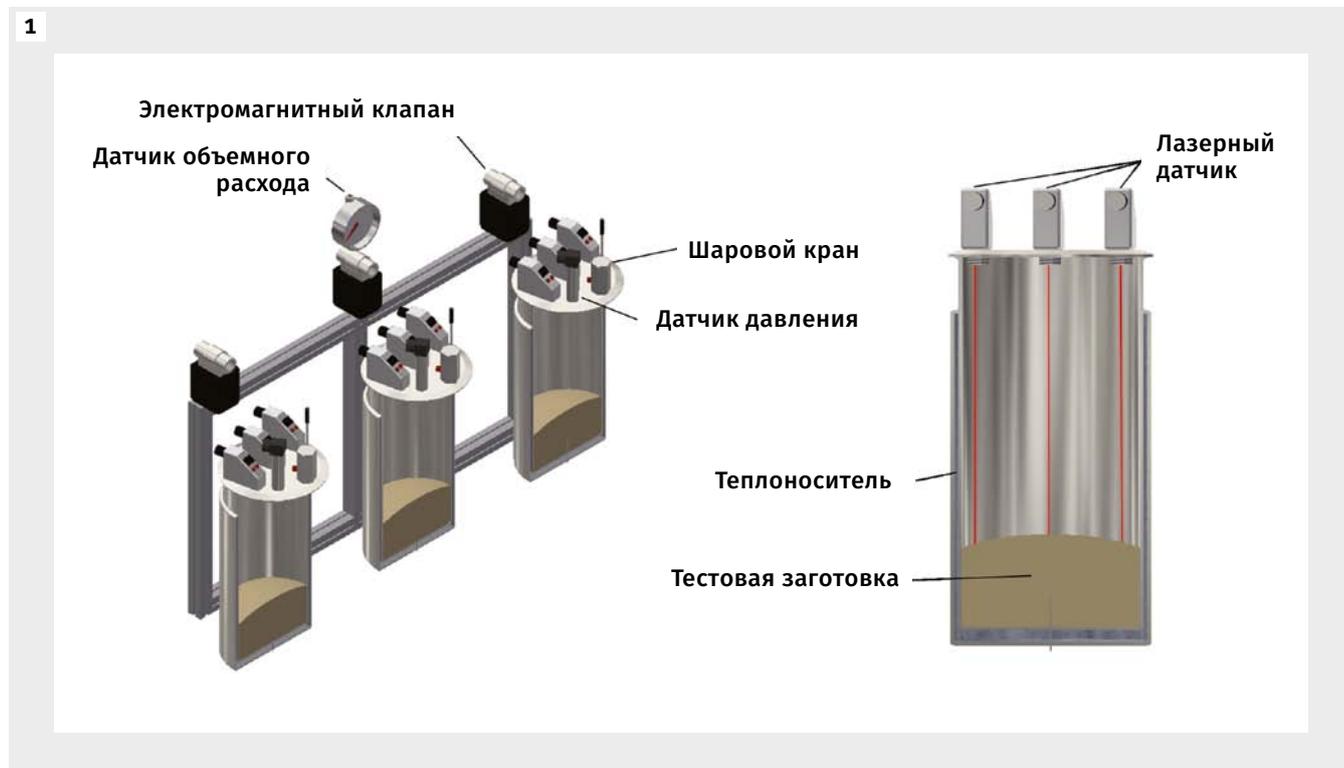


# Бесконтактный способ измерения газодерживающей способности

В Техническом университете Мюнхена был разработан аналитический прибор для бесконтактного измерения высоты и определения газообразующей способности в дрожжевом тесте. В статье рассматриваются функциональные возможности прибора.



+++ CAD чертеж аналитической системы с 3 ферментерами, слева - с активными лазерами для поверхностных измерений, справа - в разрезе со всеми деталями

**+** Один из важнейших этапов приготовления хлеба – ферментация дрожжей. Именно от этого зависят свойства хлеба, такие как объем, структура пор, аромат, цвет и текстура. Ферментация вызывает превращение хлебопекарных дрожжей (*Saccharomyces cerevisiae*) в последующие биологические продукты преобразования, в результате чего происходит внесение газов в структуру теста. Объем вносимого газа в наибольшей степени зависит от трех факторов: вид дрожжей, возраст дрожжевых клеток и присутствие субстрата (сахар, минеральные вещества и т.д.). Однако способность теста

удерживать внесенные газы в значительной мере зависит от свойств используемого сырья либо от технологических условий, например, времени замеса или внесения энергии во время замешивания. Следовательно, в такой сложной системе качество готовой продукции в конечном итоге может зависеть как от используемого сырья, так и от технологических условий. В лабораторных условиях анализ перечисленных факторов, как правило, можно провести с помощью реоферментометра. Для этого в подготовленной емкости с помощью поршня регистрируют рост образцов за определенный период времени. С помощью поршня поверхность образца фиксируют таким образом, чтобы тесто поднималось как можно более равномерно, что позволяет точнее определить высоту, при этом, однако, остается неясным влияние собственного веса поршня либо, если они использовались, дополнительных грузов на увеличение объема. На основании суммарного давления газовой фазы и парциального давления части газовой фазы без диоксида углерода определяют газодерживающую способность и первый момент выделения газа из теста. Таким способом можно, например, проанализировать,

## Авторы

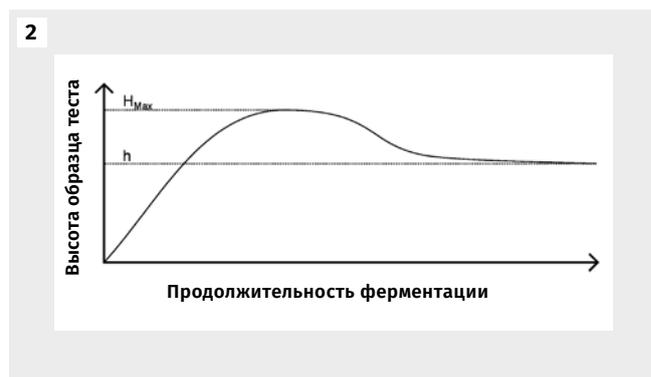
**Флориан Люкинг, Марио Йекле,**  
**проф. д-р Томас Бекер:** Кафедра технологий производства пива и напитков, рабочая группа технологий переработки зерновых культур и технологии производства.

Адрес эл. почты: [mjekle@tum.de](mailto:mjekle@tum.de)

газоудерживающую способность теста в зависимости от используемого сырья. Недостатком метода является то, что в такой системе невозможно изменять температуру, и исследования можно проводить только при температуре 30 °С. Так как ферментация дрожжей на практике чаще всего происходит при температуре, отличной от лабораторной, а также, принимая во внимание необходимость исследования влияния различных технологических процессов, в частности, замораживания и выпекания, на изменение газоудерживающей способности, кафедрой технологий приготовления пива и напитков была разработана система анализа изменения газообразующей и газоудерживающей способности теста, приготовленного с использованием микробиологических (дрожжи, закваска) или химических (хлебопекарный улучшитель) разрыхлителей.

Аналитический прибор (рис. 1) состоит из трех ферментеров, в которых можно задавать определенную температуру в диапазоне от –15 до 150 °С путем изменения температуры нагревательного или охлаждающего агента, заключенного в двойной кожух. Водяная баня, находящаяся снаружи, позволяет поддерживать постоянную температуру теплоносителя в диапазоне от –15 до 150 °С, благодаря чему можно исследовать скорость образования газов в диапазоне высоких и низких температур. Также предусмотрена возможность нагрева и охлаждения теплоносителя, что дает возможность проанализировать скорость газообразования в разных диапазонах температур. Максимальная скорость нагрева образцов составляет 4,25 °С/мин, поэтому процесс выпечки можно регулировать в указанном температурном диапазоне. Встроенные датчики температуры служат для контроля процесса нагрева/охлаждения и измерения температуры газовой фазы и теста. Увеличение высоты образцов на протяжении всего исследования непрерывно контролируют с помощью трех лазерных датчиков, установленных в трех точках по диагонали крышки ферментера. Так как исследователи намеренно отказались от применения поршня, вследствие чего равномерный подъем поверхности образца невозможен, в середине диагонали отмечался больший подъем теста по сравнению с внешними краями, как схематически показано на рис. 1. Помимо этого, в ферментеры были встроены датчики для измерения давления газовой фазы. Достижение нужного давления газовой фазы – ключевой критерий для контролируемого выпуска образующихся продуктов ферментации. Для начала рассчитали объемный поток газа по разнице давлений и уравнению состояния идеального газа.

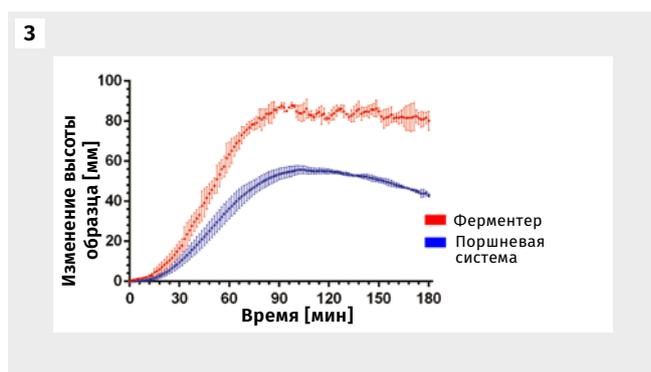
В первую очередь необходимо было сравнить функциональные возможности ферментеров с возможностями стандартных аналитических систем. Для начала определили оптимальное время замешивания и водопоглощающую способность пшеничной муки (тип 550, фирма Rosenmühle GmbH, Ландсхут, Германия). Основываясь на полученных данных, замесили тесто. Во все образцы



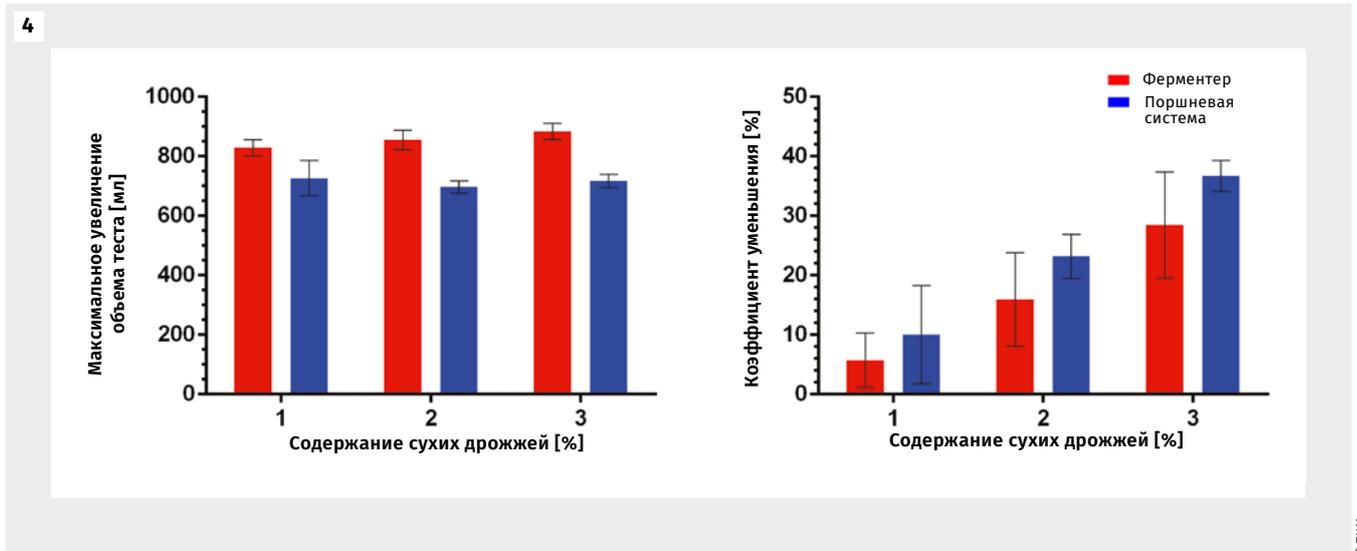
+++ Схема изменения высоты теста на протяжении испытания

ввели сухие дрожжи (*Saccharomyces cerevisiae*, Casteggio Lieviti IT) в количестве 1, 2 и 3 % в пересчете на объем муки. Затем отобрали по 315 г теста от каждой партии, поместили в ферментеры и на протяжении 3 часов ферментации исследовали процесс газообразования и высоту образцов. После этого сравнили результаты с результатами, полученными в поршневой системе. В стандартной аналитической системе на образцы через поршень действовала нагрузка в 1 кг.

На рис. 2 приведена идеальная схема изменения высоты образцов в течение всего испытания. В начале испытания объем образцов увеличивается вследствие газообразования. При этом большая часть газа удерживается внутри теста. Через определенный период времени в зависимости от свойств выбранного сырья и технологических условий газоудерживающая способность теста уменьшается, при этом скорость газообразования остается неизменной. Соответственно, тестовая заготовка больше не способна полностью удерживать весь объем образованного газа. Тем не менее, пока скорость газообразования выше, чем скорость выхода газа, образец еще может увеличиться в объеме. Но как только скорость выхода газа превысит скорость газообразования, образец начнет терять объем. На схематической диаграмме на рис. 2 этот момент обозначен как достижение максимальной высоты  $H_{max}$  в период проведения испытания, а высота образца после завершения испытания обозначена символом  $h$ . Величина, на которую высота образца уменьшается после достижения  $H_{max}$ ,



+++ Увеличение высоты образцов в ферментере по сравнению с поршневой системой при ( $\vartheta = 30$  °С,  $t = 3$  h,  $w_{дрожж.} = 2$  %)



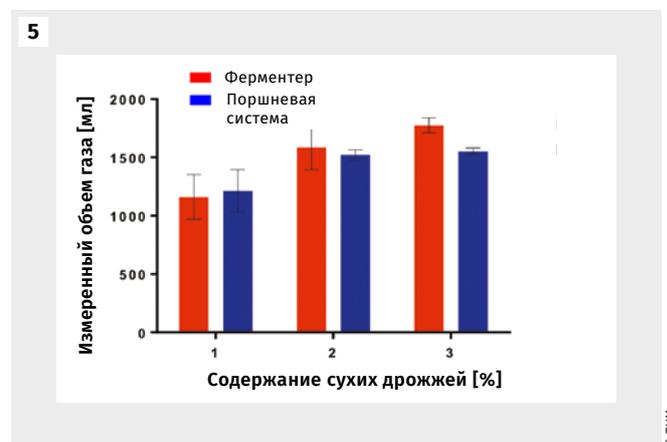
+++ Сравнение максимального достигнутого увеличения объема (А) и коэффициентов уменьшения (В) для образцов с разным содержанием дрожжей в реоферментометре и ферментере

обозначена коэффициентом уменьшения, который рассчитывается как частное деления  $H_{\max-h}$  на  $H_{\max}$ .

На рис. 3 отмечены значения высоты теста в испытаниях образцов с разным содержанием сухих дрожжей при постоянной температуре 30 °С, достигнутые за 3 часа, в течение которых длилось испытание. Один из отмеченных аспектов заключается в том, что для средних значений высоты в ферментерах характерно большее увеличение, более высокий  $H_{\max}$ , а также меньшее падение высоты после достижения  $H_{\max}$ .

Сконструированные ферментеры имеют емкость, диаметр которой на 2 см меньше по сравнению с поршневой системой. По этой причине образцы в ферментере поднимаются выше, и, следовательно, имеют преимущества при сравнении теста из разного сырья. Характерные показатели  $H_{\max}$  и коэффициент уменьшения умножили на соответствующую площадь сечения и рассчитали с учетом изменения объема. Таким образом получили максимальный объем и, соответственно, уменьшение объема в процентном соотношении после достижения максимального объема, чтобы облегчить сравнение двух разных систем.

При рассмотрении максимального объема теста на рис. 4А становится очевидна разница между поршневой системой и ферментерами, несмотря на одинаковый температурный режим и продолжительность испытания. Образцы в ферментерах во всех случаях, какое бы количество дрожжей не содержали, имели больший объем, а помимо этого, по мере увеличения содержания дрожжей отмечалась небольшая тенденция к увеличению объема. В поршневой системе не отмечалось увеличения объема образцов при увеличении содержания дрожжей. В ферментере, где максимальное давление газовой фазы, действующее на поверхность образца, составляет 0,05 бар, отмечалась тенденция к увеличению объема



+++ Образовавшийся объем газа на протяжении всего испытания в ферментерах и поршневой системе в зависимости от содержания дрожжей

образца при увеличении содержания дрожжей. Приведенные на рис. 4В коэффициенты уменьшения также свидетельствуют о влиянии дополнительной нагрузки, то есть поршня, на изменение высоты образцов. Для удобства сравнения коэффициенты уменьшения рассчитали, исходя из пересчитанных объемов, так как диаметр емкости ферментера меньше диаметра емкости реоферментометра. В поршневой системе отмечалось значительно более выраженное опадение образцов после достижения максимального объема. Следуя вышеизложенному, на практике можно получить более близкие к реальности значения максимального увеличения объема теста и коэффициентов уменьшения для ферментера. Тестовая заготовка не может удерживать весь образующийся объем газа на протяжении всех трех часов испытания. Поэтому в течение всего испытания исследователи непрерывно наблюдали за давлением газовой фазы. Достижение выбранного давления газовой фазы, в данном случае  $\Delta p = 0,05$  бар, служит критерием для открывания электромагнитных клапанов и выпуска воздуха, пока не будет достигнуто атмосферное давление. Объем газовой фазы можно рассчитать по соответствующей

разнице давлений, температуре и составу. Содержащийся в тестовой заготовке объем газа в фазе роста или выступающий из заготовки объем газа можно рассчитать, для чего необходим оптический контроль за изменением высоты заготовок.

Следующий аспект заключается в том, что в многочисленных проведенных институтом испытаниях максимальный объем образования газа в поршневых системах составлял от 1 500 до 1 600 мл вне зависимости от присутствия субстрата и содержания дрожжей, что говорит об определенных ограничениях метода. Данное предположение необходимо было проверить в новой ферментационной системе с меньшим воздействием давления. На рис. 5 приведены все измеренные значения объема газа в обеих измерительных системах для всех образцов. Для образцов с содержанием дрожж. = 1 % в поршневой системе и в ферментационных емкостях были получены практически идентичные значения содержания газа. Однако с увеличением содержания сухих дрожжей в ферментационных емкостях отмечалась тенденция к увеличению образования газа, в то время как в поршневой системе при содержании сухих дрожжей от 2 % до 3 % в образце газообразующая способность не менялась. Это позволяет сделать предположение о влиянии существующего инструментария на результаты. Следовательно, на результаты могло повлиять изменение рецептуры или технологических параметров.

Итак, в ходе испытаний не удалось доказать, что выявленные ограничения поршневой системы обусловлены воздействием давления на образцы, однако тенденция к увеличению объема газа в ферментационных емкостях свидетельствует о том, что отсутствие нагрузки на тестовые заготовки приводит к повышению газообразующей способности. Для более точного исследования объема газа в ферментационные емкости установили детекторы CO<sup>2</sup> и счетчик объемного расхода.

В целом, с одной стороны, в серии испытаний была отмечена сравнимость результатов, полученных в ферментерах, с результатами, полученными в поршневых системах. Отсутствие дополнительной нагрузки, воздействующей на образцы, позволяет применить близкий к реальности метод анализа образования теста и ферментации, что стало возможным благодаря бесконтактному дистанционному измерению высоты поверхности проб и было подтверждено сравнением показателей  $V_{\max}$  и коэффициентов уменьшения для ферментационных емкостей и поршневой системы. Равномерное распределение теплоносителя по всем емкостям было подтверждено путем регистрации температуры в разных частях емкостей, а также температуры образцов и газовой фазы. Таким образом, можно утверждать, что существует возможность одновременного трехкратного определения параметров при непрерывном контроле условий ферментации во всех ферментационных емкостях. Это сэкономит время, благодаря чему станет возможным либо проводить большее количество испытаний, либо более быстро получить результаты.

В ходе дальнейших испытаний будет исследована скорость газообразования в диапазонах экстремальных температур, а также при динамических вариациях температуры, чтобы получить более точную картину влияния технологических параметров и свойств сырья на качество продукции при выпечке, заморозке или брожении. Благодаря конструкции ферментеров можно также исследовать жидкости, такие как, например, чистые дрожжевые суспензии, изолированно, то есть, без искажающего влияния структуры теста. Вследствие разброса возможных параметров с помощью разработанного аналитического прибора станет возможным проводить исследования по любой актуальной в отрасли тематике в целях оптимизации технологических параметров. +++



❖ **быстро!**  
❖ **легко!**  
❖ **удобно!**

Закажите уже сегодня электронную версию журнала на сайте:

[www.chlebiwipetschka.com](http://www.chlebiwipetschka.com)