

УДК 543.07

## СИСТЕМА ВЫСОКОСКОРОСТНОГО АНАЛИЗА ПОЧВ (МЕТОД ЦИНАО) SYSTEM OF THE HIGH-SPEED SOIL ANALYSIS (CINAO METHOD)

В.А. Бузановский, НПО «Химавтоматика», 129226, г. Москва, Сельскохозяйственная ул., д. 12а, тел. (495) 181-37-88, e-mail: vab1960@rambler.ru.

V.A. Buzanovsky, Research-and-production association «Khimavtomatika», Selskohozyastvenna st., 12a, Moscow, 129226, Russian Federation, tel. (495) 181-37-88, e-mail: vab1960@rambler.ru.

Представлены результаты разработки системы высокоскоростного анализа почв по методу ЦИНАО. Критерием синтеза системы являлась наименьшая стоимость измерительной информации, а ограничениями синтеза – требуемые точность и производительность анализа.

Ключевые слова: информационно-измерительная система, почва, состав, высокоскоростной анализ.

Results of system engineering of the high-speed soil analysis by CINAO method are submitted. Criterion of synthesis of system was the minimum cost of the measurement information and restrictions of synthesis were required accuracy and productivity of the analysis.

Key words: system engineering, high-speed soil analysis, information and restrictions of synthesis.

Информационно-измерительные системы физико-химического состава и свойств веществ получили широкое распространение во многих областях человеческой деятельности, в т.ч. и в растениеводстве. При этом разработка систем с требуемыми технико-экономическими характеристиками должна осуществляться на базе принципов, изложенных в нашей предыдущей работе [1]. Настоящая публикация посвящена системе высокоскоростного анализа почв по методу ЦИНАО, созданной для зональных агрохимических лабораторий на основе этих принципов.

Агрохимический анализ в соответствии с методиками выполнения измерений, регламентируемыми стандартами [3–7], включает:

– извлечение нитратов, обменных аммония, марганца, алюминия, магния и кальция из почв раствором хлорида калия;

– восстановление нитратов до нитритов гидразином в присутствии меди и их фотометрическое определение в виде окрашенного диазосоединения;

– получение окрашенного индофенольного соединения, образующегося при взаимодействии аммония с гипохлоритом и салицилатом натрия в щелочной среде, и фотометрирование окрашенного раствора;

– образование окрашенного комплекса марганца с формальдоксимом и фотометрирование окрашенного раствора (влияние сопутствующих компонентов устраняется гидросиламином гидрохлоридом и трилоном «Б»);

– получение окрашенного комплекса алюминия с хромазуролом «С» в слабокислой среде и фотометрирование окрашенного раствора (влияние железа предотвращается восстановлением его до двухвалентного состояния аскорбиновой кислотой);

– измерение поглощения света свободными атомами магния и кальция, образующимися в пламени при введении в него анализируемого раствора (для устранения влияния сопутствующих компонентов, образующих с магнием и кальцием труднорастворимые в пламени соединения, в атомизируемые растворы вводится избыток стронция).

В качестве критерия синтеза системы, реализующей перечисленные операции, использовалась наименьшая стоимость получения измерительной информации, а ограничениями синтеза являлись:

– соответствие ее метрологических характеристик при проведении измерений концентраций нитратов, обменных аммония, марганца, алюминия, магния и кальция в почвах требованиям стандартов [3–7] (табл.);

– обеспечение требуемой производительности измерений (до 2000 анализов по каждому из названных компонентов за рабочую смену).

Помимо этого система анализа почв по методу ЦИНАО должна была состоять из технических средств отечественного производства. Следует отметить, что стоимость получаемой измерительной информации складывается из

стоимости технических средств системы, а также затрат, связанных с ее эксплуатацией, в частности затрат по пополнению расходных материалов.

| Требования к диапазонам и погрешностям измерений компонентов почв |                           |  |
|---|---------------------------|--|
| Наименование компонента (стандарта)                               | Диапазон измерений, мг/кг | Относительная погрешность измерений, % |
| Алюминий (ГОСТ 26485-85)  | от 10 до 50               | не более 40                            |
| Марганец (ГОСТ 26486-85)  | от 26 до 130              | не более 20                            |
| Магний (ГОСТ 26487-85)  | от 6 до 30                | не более 30                            |
| Кальций (ГОСТ 26487-85)   | от 60 до 300              | не более 25                            |
| Нитраты (ГОСТ 26488-85)   | от 6 до 30                | не более 20                            |
| Аммоний (ГОСТ 26489-85)   | от 12 до 60               | не более 25                            |

На основе предъявленных требований задача синтеза системы была отнесена к задачам типа 1:3 [1]. Началом ее решения являлась разработка возможных структурных схем системы, соответствовавших методикам, регламентируемым стандартами [3–7].

Три структурные схемы из числа разработанных представлены на рис. 1–3, где 1 – весовой комплекс, 2 – дозатор экстрагирующего раствора, 3 – блок экстрагирования, 4 – блок фильтрования, 5 – дозатор отбора раствора, 6 – дозатор реагента, 7 – блок проведения химической реакции, 8 – фотоколориметр, 9 – атомно-абсорбционный спектрометр. Идентичность операций по извлечению нитратов, обменных аммония, марганца, алюминия, магния и кальция (стандарты [3–7]) обусловила целесообразность применения общей подсистемы отбора пробы, а идентичность операций по подготовке растворов для атомно-абсорбционного детектирования (стандарт [5]) – общей подсистемы преобразования пробы в измерительных каналах магния и кальция.

Система, соответствующая структурной схеме (рис. 1), характеризуется наибольшим количеством элементов в подсистемах преобразования пробы и подсистемах измерений. Данное обстоятельство, с одной стороны, должно обуславливать значительный вклад в стоимость получаемой измерительной информации затрат, связанных с изготовлением, техническим обслуживанием и энергопотреблением технических средств системы. С другой стороны, применение дозаторов отбора растворов при проведении каждого преобразования пробы позволяет снизить затраты, связанные с пополнением расходных материалов. Вместе с этим операции по отбору растворов при проведении каждого преобразования пробы сопровождаются увеличением времени выполнения анализа, что снижает производительность системы.

Система, реализующая структурную схему (рис. 2), имеет наименьшее количество элементов в подсистемах преобразования пробы и наибольшее в подсистемах

измерений. Данная схема характеризуется более низким вкладом в стоимость получаемой измерительной информации затрат на изготовление, техническое обслуживание и энергопотребление технических средств системы, однако затраты, обусловленные пополнением расходных материалов, будут превышать аналогичные расходы, соответствующие системе со структурной схемой (рис. 1). При этом производительность системы со структурной схемой (рис. 2) должна превосходить производительность системы с наибольшим количеством элементов (рис. 1).

Система, построенная по структурной схеме, приведенной на рис. 3, содержит наименьшее количество элементов. Вследствие этого затраты на ее изготовление, техническое обслуживание и энергопотребление являются наименьшими, а затраты на пополнение расходных материалов совпадают с аналогичными расходами для системы со структурной схемой, представленной на рис. 2. В то же время подсистемы измерений, основанные на применении одного фотоколориметра и одного атомно-абсорбционного спектрометра, могут обуславливать существенное увеличение времени анализа за счет проведения перенастройки названных приборов [2].

Следующая стадия синтеза системы заключалась в определении совокупностей технических средств, способных реализовать разработанные структурные схемы. Анализ выпускавшихся отечественных технических средств, показал, что доминирующая часть операций по отбору и преобразованию пробы могла быть реализована только вручную, что не обеспечивало требовавшуюся производительность. Указанное обстоятельство явилось одной из причин разработки агрегатного комплекса средств аналитической техники для подготовки жидких сред при лабораторном анализе АСАТ-ПЖ-Л. В состав названного агрегатного комплекса входили: весовой комплекс с устройством пропорционального дозирования ВКПД-40г-М; блок экстрагирования БЭ-2; устройства фильтрования и дозирования УФД-5; дозаторы жидкостей ДАЖ-115 и ДАЖ-115.1-1; комплексы отбора и дозирования КОД-1 и КОД-2; комплекс дозирования КД-1; фотоколориметрический комплекс КИ-ФК; атомно-абсорбционный комплекс КИ-АА.

Весовой комплекс с устройством пропорционального дозирования ВКПД-40г-М обеспечивал автоматическое взвешивание образца почвы и добавление к нему требуемого количества жидкого реагента. Блок экстрагирования БЭ-2, а также устройство фильтрования и дозирования УФД-5 автоматизировали соответствующие операции. Дозаторы жидкостей ДАЖ-115 и ДАЖ-115.1-1, являвшиеся основными составными частями комплексов отбора и дозирования КОД-1 и КОД-2, а также комплекса дозирования КД-1, осуществляли автоматический отбор и дозирование жидкостей по заданной программе. Фотоколориметрический комплекс КИ-ФК и атомно-абсорбционный комплекс КИ-АА обеспечивали автоматический отбор и подачу на анализ исследовавшихся жидкостей.

Созданные технические средства позволили разработать функциональные схемы системы, характеризовавшиеся высоким уровнем автоматизации лабораторных работ. Исследование разработанных функциональных схем показало, что схемы, содержавшие один, два или три фотоколориметрических комплекса КИ-ФК или один атомно-абсорбционный комплекс КИ-АА (в частности схемы, соответствовавшие рис. 3), не могли обеспечить требовавшуюся производительность анализа [2]. Результатом сказанного явилось сокращение количества возможных вариантов построения системы.

После этого для вариантов построения системы, удовлетворявших требованиям к производительности анализа (в т.ч. для функциональных схем, соответствовавших структурным схемам на рис. 1 и 2), были определены величины режимных параметров, обуславливавшие

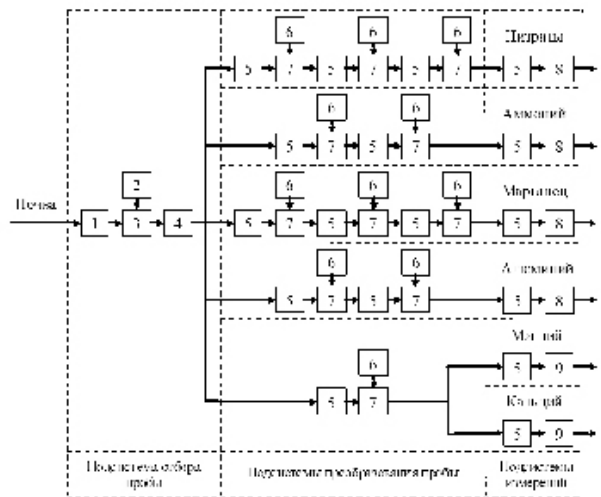


Рис. 1. Структурная схема системы с наибольшим количеством элементов в подсистемах преобразования пробы и подсистемах измерений

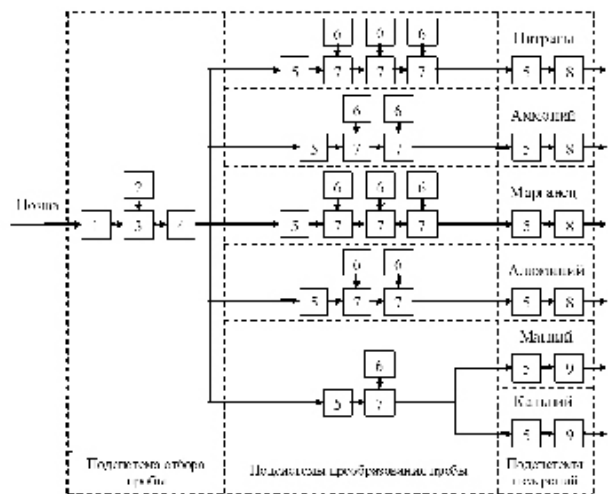


Рис. 2. Структурная схема системы с наименьшим количеством элементов в подсистемах преобразования пробы и наибольшим количеством элементов в подсистемах измерений

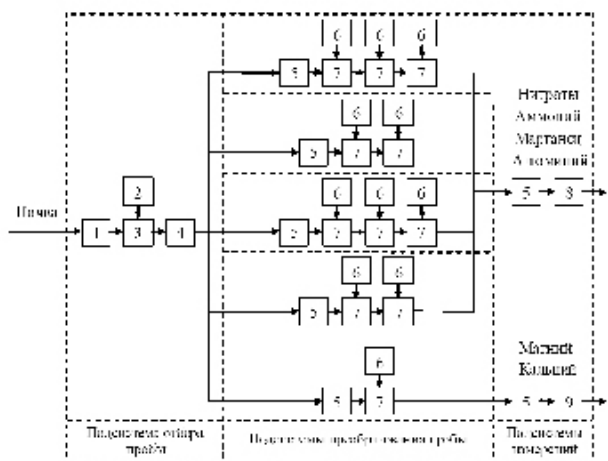


Рис. 3. Структурная схема системы с наименьшим количеством элементов в подсистемах преобразования пробы и подсистемах измерений

наименьшее потребление расходных материалов при соответствии метрологических характеристик системы данным табл. В число названных режимных параметров входили: масса анализируемой почвы; объемы почвенного фильтрата, отбиравшиеся в измерительных каналах; объемы дозируемых растворов реагентов.

Указанное определение было проведено экспериментально с учетом:

- значений объемов проб, требовавшихся для подачи на измерения в фотоколориметрический и атомно-абсорбционный комплексы КИ-ФК и КИ-АА;
- диапазонов измерений названных фотоколориметрического и атомно-абсорбционного комплексов;
- возможностей по отбору и дозированию жидкостей дозаторами типа ДАЖ-115, входившими в комплексы отбора и дозирования КОД-1 и КОД-2, а также комплексы дозирования КД-1;
- диапазонов взвешивания почвенных образцов и добавления объема экстрагирующего раствора весовым комплексом с пропорциональным дозированием ВКПД-40г-М;
- требований, предъявлявшихся к диапазонам измерений концентраций нитратов, обменных аммония, марганца, алюминия, магния и кальция в почвах (табл.).

Далее была оценена стоимость измерительной информации, получаемой вариантами построения системы, удовлетворявшими требованиям к производительности и точности анализа при обеспечении наименьшего потребления расходных материалов. Сравнение результатов оценивания определило вариант построения системы, характеризовавшийся наименьшей величиной получаемой измерительной информации. Данный вариант построения соответствовал структурной схеме, изображенной на рис. 2.

Полученные результаты использованы при разработке автоматизированной системы высокоскоростного анализа почв по методу ЦИНАО АСВА-П(Ц). Указанная система прошла апробацию в ЦНИИ агрохимического обслуживания сельского хозяйства (ныне ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова). Результаты испытаний системы подтвердили соответствие точности и производительности ее измерений предъявлявшимся требованиям. ■

#### Литература

1. Бузановский В.А. Аспекты синтеза информационно-измерительных систем физико-химического состава и свойств веществ // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2008. № 1. С. 31—36.
2. Бузановский В.А. Схемы построения систем физико-химического состава и свойств веществ с «простыми» измерительными каналами // Приборостроение и средства автоматизации. Энциклопедический справочник. 2007. № 11. С. 63—67.
3. ГОСТ 26485-85. Почвы. Определение обменного (подвижного) алюминия по методу ЦИНАО.
4. ГОСТ 26486-85. Почвы. Определение обменного марганца методами ЦИНАО.
5. ГОСТ 26487-85. Почвы. Определение обменного кальция и обменного (подвижного) магния методами ЦИНАО.
6. ГОСТ 26488-85. Почвы. Определение нитратов по методу ЦИНАО.
7. ГОСТ 26489-85. Почвы. Определение обменного аммония по методу ЦИНАО.