# Введение

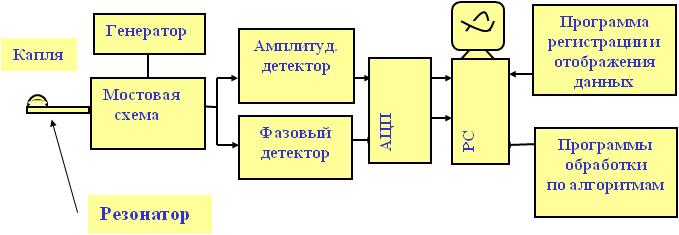
Аппаратно-программный комплекс ТВК (технология высыхающей капли)(рис.1), на котором велась работа, предназначен для идентификации многокомпонентных жидкостей без определения их состава. Идентификация проводится путём количественного сравнения динамических параметров высыхания капли исследуемого образца с соответствующими параметрами образца из эталонной базы данных. В качестве информативного параметра при сравнении жидкостей используется динамика комплексных механических свойств высыхания капель, регистрируемая методом акустической импедансометрии (запись величины модуля акустомеханического импеданса (АМИ) капли в режиме реального времени) и представляемая в виде годографов («отпечатков») на комплексной плоскости.

Рисунок 1. Принципиальная схема и внешний вид АПК ТВК

АМИ – величина акустического или механического импеданса капли, в режиме сдвиговых колебаний нагружающего кварцевую пластину (сенсор, подложку, резонатор). Биологические факторы, сопровождающие процесс высыхания многокомпонентной жидкости, изменяют физические свойства капли, динамика которых получает отображение в виде кривой в координатах АМИ−время в программе ТВК. Форма кривой АМИ – паспортная характеристика жидкости.

**Методика:** для исследования использовалось молоко торговой марки «Племзавод им. Ленина» (3,2% жирности), молоко торговой марки «Городецкое» (выше 3,2% жирности), сухое молоко (26% жирности, Белоруссия). Все образцы использовали в течение срока годности, указанного на упаковках, и хранили в холодильнике при температуре +4°С.

Сухое молоко разбавляли тёплой кипячёной водой в пропорции одна доля сухого молока к семи долям воды для получения раствора 3,2% жирности. Выдерживали при комнатной температуре не менее 30 минут до тестирования.

Исследования с помощью АПК ТВК-1 проводили для изучения возможности классификации цельного молока и цельного молока с примесями в различных концентрациях (цельное молоко + сухое молоко) по кривой акусто-механического импеданса.

Используемые концентрации:

- цельное м. 100%;

- сухое молоко 100%;

- цельное молоко 90% + сухое молоко 10%;

- цельное молоко 70% + сухое молоко 30%;

- цельное молоко 50% + сухое молоко 50%.

Для анализа требовалось по 3мкл капли продукта (набранный объём получали с помощью дозатора с наконечниками). Каплю наносили на кварцевую пластину, запись высыхания капли велась в течение 20 минут.

После каждой записи сенсор вынимали и протирали спиртовой салфеткой. Также каждый день перед началом первой записи настраивали рабочую частоту для сенсора с помощью программы. Это было необходимо, так как частота незначительно (не более чем на 1,5Гц) менялась из-за оказания механического воздействия на кварцевую пластину во время вытирания записанного отпечатка.

Фиксировались условия проведения эксперимента: частота сенсора, влажность воздуха, жирность молока, дата производства молока. Кроме того, фиксировался момент полного высыхания капли.

# Описание экспериментальных данных

Исследуемая жидкость: цельное молоко и молоко с примесями. Объём капли: 3 мкл. Время записи по умолчанию: 20 минут. Расположение на сенсоре: по умолчанию: у дальнего края от корпуса сенсора, круглая капля по центру пластины, не достигающая краёв. Записи по умолчанию выполнены на одном сенсоре.

Формат файла \*-6k.csv: данные в файле представляют собой шестиканальную запись динамики электрической комплексной проводимости резонатора, однозначно связанной с величиной акустомеханического импеданса (АМИ) капли.

1 канал – время t. Отсчеты времени t берутся через 1,56 с.;

2 канал – реальная часть комплексной проводимости ;

3 канал – мнимая часть комплексной проводимости ;

4 канал – модуль комплексной проводимости ;

5 канал – угол ;

6 канал -

1. Цельное молоко 100%.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Имя файла | Частота резонатора, Гц | Длительность записи, мин | Влажность воздуха, % | Момент высыхания, кол-во отсчетов | Примечания |
| 73.csv | 60386,23 | 18 | 70 | 600 | М. «Городецкое», ж. 3,7%, д. в. 05.07.19 |
| 74.csv | 60386,23 | 18 | 70 | 525 | М. «Городецкое», ж. 3,7%, д. в. 05.07.19 |
| 75.csv | 60386,23 | 18 | 70 | 575 | М. «Городецкое», ж. 3,7%, д. в. 05.07.19 |
| 76.csv | 60386,23 | 18 | 70 | 600 | М. «Городецкое», ж. 3,7%, д. в. 05.07.19 |
| 7709.csv | 60383,05 | 18 | 70 | 641 | М. «Городецкое», ж. 3,7%, д. в. 05.07.19 |
| 7809.csv | 60383,05 | 18 | 70 | 627 | М. «Городецкое», ж. 3,7%, д. в. 05.07.19 |
| 7909.csv | 60383,05 | 18 | 70 | 448 | М. «Городецкое», ж. 3,7%, д. в. 05.07.19 |
| 71009.csv | 60383,05 | 18 | 70 | 600 | М. «Городецкое», ж. 3,7%, д. в. 05.07.19 |
| 71109.csv | 60383,05 | 18 | 70 | 636 | М. «Городецкое», ж. 3,7%, д. в. 05.07.19 |
| 718.csv | 60 379,3 | 18 | 76 | 712 | М. «Городецкое», ж. 4%, д. в. 06.08.19 |
| 719.csv | 60378,9 | 18 | 76 | 671 | М. «Городецкое», ж. 4%, д. в. 06.08.19 |
| 720.csv | 60379,03 | 18 | 74 | 548 | М. «Городецкое», ж. 4%, д. в. 06.08.19 |
| 721.csv | 60378,85 | 18 | 82 | 627 | М. «Городецкое», ж. 4%, д. в. 06.08.19 |
| 722.csv | 60379,04 | 18 | 78 | 600 | М. «Городецкое», ж. 4%, д. в. 06.08.19 |
| 725.csv | 60387,07 | 18 | 53 | 400 | М. «Городецкое», ж. 3,8%, д. в. 11.08.19 |
| 728.csv | 60386,29 | 18 | 61 | 449 | М. «Городецкое», ж. 3,8%, д. в. 11.08.19 |
| 729.csv | 60386,3 | 18 | 60 | 500 | М. «Городецкое», ж. 3,8%, д. в. 11.08.19 |
| 730.csv | 60386,45 | 18 | 63 | 460 | М. «Городецкое», ж. 3,8%, д. в. 11.08.19 |
| 731.csv | 60385,98 | 18 | 63 | 500 | М. «Городецкое», ж. 3,8%, д. в. 11.08.19 |
| 732.csv | 60385,94 | 18 | 63 | 434 | М. «Городецкое», ж. 3,8%, д. в. 11.08.19 |
| 733.csv | 60385,25 | 18 | 63 | 374 | М. «Городецкое», ж. 3,8%, д. в. 11.08.19 |
| 734.csv | 60389,81 | 18 | 73 | 587 |  |
| 735.csv | 60390,63 | 18 | 73 | 537 |  |
| 736.csv | 60391,15 | 18 | 73 | 546 |  |
| 737.csv | 60390,97 | 18 | 73 | 528 |  |
| 738.csv | 60391,94 | 18 | 73 | 521 |  |

1. Сухое молоко 100%

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Имя файла | Частота резонатора, Гц | Длительность записи, мин | Влажность воздуха, % | Момент высыхания, кол-во отсчетов | Примечания |
| 91.csv |  | 18 |  | 448 | С.м. 3,6% ж. |
| 92.csv |  | 18 |  | 401 | С.м. 3,6% ж. |
| 93.csv |  | 18 |  | 360 | С.м. 3,6% ж. |
| 94.csv | 60386,23 | 20 |  | 352 | С.м. 3,6% ж. |
| 95.csv | 60386,23 | 20 |  | 400 | С.м. 3,6% ж. |
| 96.csv | 60386,23 | 20 | 61 | 327 | С.м. 3,6% ж. |
| 97.csv | 60383,52 | 20 | 61 | 329 | С.м. 3,6% ж. |
| 98.csv | 60383,52 | 20 | 61 | 371 | С.м. 3,6% ж. |
| 99.csv | 60378,88 | 20 | 78 | 622 | С.м. 3,6% ж. |
| 910.csv | 60380,07 | 20 | 80 | 700 | С.м. 3,6% ж. |
| 911.csv | 60379,85 | 20 | 78 | 700 | С.м. 3,6% ж. |
| 912.csv | 60379,75 | 20 | 83 | 700 | С.м. 3,6% ж. |
| 913.csv | 60379,57 | 20 | 83 | 600 | С.м. 3,6% ж. |
| 914.csv |  | 20 | 74 | 648 | С.м. 3,6% ж. |
| 915.csv | 60384,6 | 20 | 74 | 655 | С.м. 3,6% ж. |
| 916.csv | 60384,83 | 20 | 78 | 500 | С.м. 3,6% ж. |
| 917.csv | 60384,57 | 20 | 78 | 559 | С.м. 3,6% ж. |
| 918.csv | 60387,45 | 20 | 78 | 638 | С.м. 3,6% ж. |
| 919.csv | 60387,11 | 20 | 78 | 600 | С.м. 3,6% ж. |
| 920.csv | 60387,4 | 20 | 78 | 614 | С.м. 3,6% ж. |
| 921.csv | 60386,85 | 20 | 78 | 643 | С.м. 3,6% ж. |
| 922.csv | 60393,25 | 20 | 78 | 712 | С.м. 3,6% ж. |
| 923.csv | 60393,21 | 20 | 78 | 672 | С.м. 3,6% ж. |
| 924.csv | 60392,97 | 20 | 78 | 535 | С.м. 3,6% ж. |
| 925.csv | 60392,93 | 20 | 78 | 593 | С.м. 3,6% ж. |

1. Смесь сухое молоко 10% + цельное молоко 90%

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Имя файла | Частота резонатора, Гц | Длительность записи, мин | Влажность воздуха, % | Момент высыхания, кол-во отсчетов | Примечания |
| 140.csv | 60381,61 | 20 |  | 475 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 3,5%, д. в. 09.07.19 |
| 141.csv | 60381,61 | 20 |  | 640 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 3,5%, д. в. 09.07.19 |
| 142.csv | 60381,61 | 20 |  | 530 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 3,5%, д. в. 09.07.19 |
| 143.csv | 60381,61 | 20 |  | 570 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 3,5%, д. в. 09.07.19 |
| 144.csv | 60381,61 | 20 |  | 526 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 3,5%, д. в. 09.07.19 |
| 145.csv | 60381,61 | 20 |  | 517 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 3,5%, д. в. 09.07.19 |
| 146.csv | 60381,61 | 20 |  | 541 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 3,5%, д. в. 09.07.19 |
| 147.csv | 60381,61 | 20 |  | 437 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 3,5%, д. в. 09.07.19 |
| 148.csv | 60381,61 | 20 |  | 518 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 3,5%, д. в. 09.07.19 |
| 149.csv |  | 20 |  | 797 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 4%, д. в. 06.08.19 |
| 1410.csv |  | 20 |  | 774 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 4%, д. в. 06.08.19 |
| 1411.csv |  | 20 |  | 768 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 4%, д. в. 06.08.19 |
| 1412.csv |  | 20 |  | 840 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 4%, д. в. 06.08.19 |
| 1413.csv |  | 20 |  | 728 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 4%, д. в. 06.08.19 |
| 1414.csv |  | 20 |  | 680 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 4%, д. в. 06.08.19 |
| 1415.csv | 60354,61 | 20 | 78 | 705 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 3,8%, д. в. 11.08.19 |
| 1416.csv | 60354,31 | 20 | 78 | 424 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 3,8%, д. в. 11.08.19 |
| 1417.csv | 60354,27 | 20 | 78 | 494 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 3,8%, д. в. 11.08.19 |
| 1418.csv | 60393,05 | 20 | 68 | 499 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 3,8%, д. в. 11.08.19 |
| 1419.csv | 60392,7 | 20 | 72 | 400 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 3,8%, д. в. 11.08.19 |
| 1420.csv | 60392,75 | 20 | 63 | 500 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 3,8%, д. в. 11.08.19 |
| 1421.csv | 60392,75 | 20 | 66 | 500 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 3,8%, д. в. 11.08.19 |
| 1422.csv | 60392,59 | 20 | 64 | 400 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 3,8%, д. в. 11.08.19 |
| 1423.csv | 60392,2 | 20 | 66 | 460 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 3,8%, д. в. 11.08.19 |
| 1424.csv | 60392,6 | 20 | 66 | 500 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 3,8%, д. в. 11.08.19 |

1. Смесь сухое молоко 30% + цельное молоко 70%

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Имя файла | Частота резонатора, Гц | Длительность записи, мин | Влажность воздуха, % | Момент высыхания, кол-во отсчетов | Примечания |
| 180.csv | 60379,29 | 20 |  | 533 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 3,6%, д. в. 17.07.19 |
| 181.csv | 60379,3 | 20 |  | 524 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 3,6%, д. в. 17.07.19 |
| 182.csv | 60379,25 | 20 |  | 499 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 3,6%, д. в. 17.07.19 |
| 183.csv | 60380,35 | 20 |  | 499 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 3,6%, д. в. 17.07.19 |
| 184.csv | 60379,99 | 20 |  | 596 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 3,6%, д. в. 17.07.19 |
| 185.csv | 60379,75 | 20 |  | 500 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 3,6%, д. в. 17.07.19 |
| 186.csv | 60379,37 | 20 |  | 497 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 3,6%, д. в. 17.07.19 |
| 187.csv | 60379,13 | 20 |  | 497 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 3,6%, д. в. 17.07.19 |
| 188.csv | 60379,52 | 20 |  | 598 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 3,6%, д. в. 17.07.19 |
| 189.csv | 60379,1 | 20 | 67 | 500 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 3,8%, д. в. 11.08.19 |
| 1810.csv | 60378,84 | 20 | 67 | 498 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 3,8%, д. в. 11.08.19 |
| 1811.csv | 60378,7 | 20 | 67 | 499 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 3,8%, д. в. 11.08.19 |
| 1812.csv | 60378,36 | 20 | 67 | 454 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 3,8%, д. в. 11.08.19 |
| 1813.csv | 60378,45 | 20 | 67 | 507 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 3,8%, д. в. 11.08.19 |
| 1814.csv | 60378,05 | 20 | 67 | 393 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 3,8%, д. в. 11.08.19 |
| 1815.csv | 60392,19 | 20 | 77 | 717 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 4%, д. в. 18.08.19 |
| 1816.csv | 60391,93 | 20 | 84 | 783 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 4%, д. в. 18.08.19 |
| 1817.csv | 60391,71 | 20 | 87 | 794 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 4%, д. в. 18.08.19 |
| 1818.csv | 60391,3 | 20 | 83 | 915 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 4%, д. в. 18.08.19 |
| 1819.csv | 60390,89 | 20 | 75 | 775 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 4%, д. в. 18.08.19 |
| 1820.csv | 60391,63 | 20 | 75 | 588 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 4%, д. в. 18.08.19 |
| 1821.csv | 60391,55 | 20 | 76 | 682 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 4%, д. в. 18.08.19 |
| 1822.csv | 60391,45 | 20 | 76 | 658 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 4%, д. в. 18.08.19 |
| 1823.csv | 60391,33 | 20 | 76 | 647 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 4%, д. в. 18.08.19 |
| 1824.csv | 60390,68 | 20 | 75 | 600 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 4%, д. в. 18.08.19 |

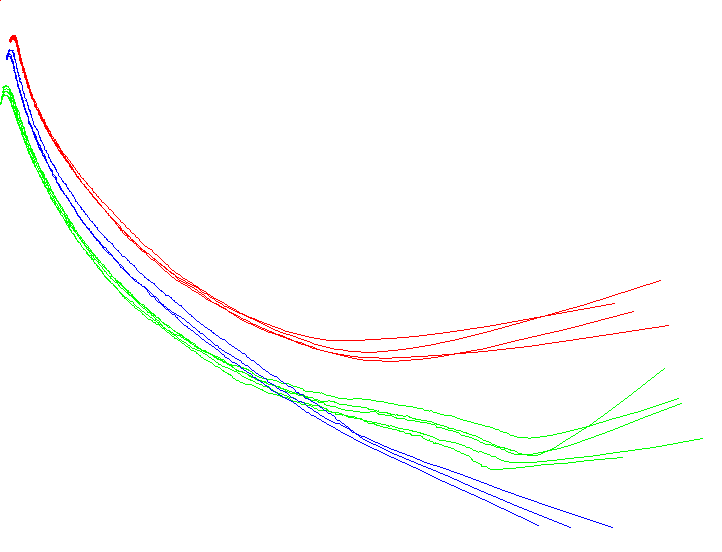
1. Смесь сухое молоко 50% + цельное молоко 50%

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Имя файла | Частота резонатора, Гц | Длительность записи, мин | Влажность воздуха, % | Момент высыхания, кол-во отсчетов | Примечания |
| 120.csv | 60384,06 | 20 | 73 | 399 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 3,5%, д. в. 09.07.19 |
| 121.csv | 60384,06 | 20 | 73 | 425 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 3,5%, д. в. 09.07.19 |
| 122.csv | 60384,06 | 20 | 73 | 479 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 3,5%, д. в. 09.07.19 |
| 123.csv | 60384,06 | 20 | 73 | 518 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 3,5%, д. в. 09.07.19 |
| 124.csv | 60384,06 | 20 | 73 | 446 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 3,5%, д. в. 09.07.19 |
| 125.csv | 60384,06 | 20 | 73 | 510 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 3,5%, д. в. 09.07.19 |
| 126.csv | 60384,06 | 20 | 73 | 439 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 3,5%, д. в. 09.07.19 |
| 127.csv | 60383,14 | 20 | 73 | 508 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 3,5%, д. в. 09.07.19 |
| 128.csv | 60377,99 | 20 | 67 | 445 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 3,8%, д. в. 11.08.19 |
| 129.csv | 60377,81 | 20 | 67 | 454 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 3,8%, д. в. 11.08.19 |
| 1210.csv | 60377,43 | 20 | 67 | 431 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 3,8%, д. в. 11.08.19 |
| 1211.csv | 60377,33 | 20 | 66 | 445 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 3,8%, д. в. 11.08.19 |
| 1212.csv | 60377,71 | 20 |  | 502 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 3,8%, д. в. 11.08.19 |
| 1213.csv | 60377,28 | 20 | 66 | 474 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 3,8%, д. в. 11.08.19 |
| 1214.csv | 60377,2 | 20 | 70 | 525 | Смесь с.м. 3,6% ж. + м. «Городецкое» 3,8%, д. в. 11.08.19 |
| 1215.csv | 60391,03 | 20 | 76 | 659 |  |
| 1216.csv | 60390,56 | 20 | 76 | 560 |  |
| 1217.csv | 60390,67 | 20 | 76 | 572 |  |
| 1218.csv | 60391,1 | 20 | 73 | 546 |  |
| 1219.csv | 60390,92 | 20 | 73 | 525 |  |
| 1220.csv | 60390,43 | 20 | 73 | 583 |  |
| 1221.csv | 60390,29 | 20 | 77 | 412 |  |
| 1222.csv | 60390,3 | 20 | 77 | 482 |  |
| 1223.csv | 60390,45 | 20 | 77 | 551 |  |
| 1224.csv | 60390,66 | 20 | 77 | 557 |  |

# Анализ данных

Для анализа и классификации данных использовались три различных алгоритма: вычисление индексов различия годографов как среднего расстояния между соответствующими точками годографов; взвешенный kNN в пространстве главных компонент и двуслойная нейросеть, на вход которой подавались проекции исходных данных в пространство главных компонент.

1. Вычисление индексов различия годографов



конец

начало

старт

стоп

n

k

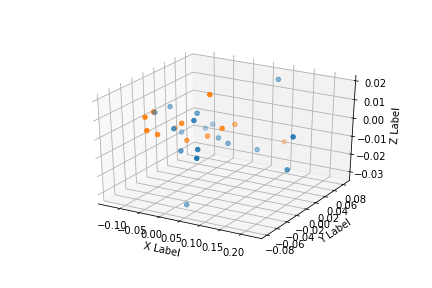
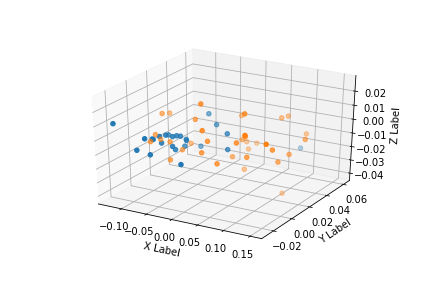
i=n…k

Индекс различия по всему набору данных - **18/28 (64%)** классифицированы верно

1. Взвешенный kNN в пространстве главных компонент

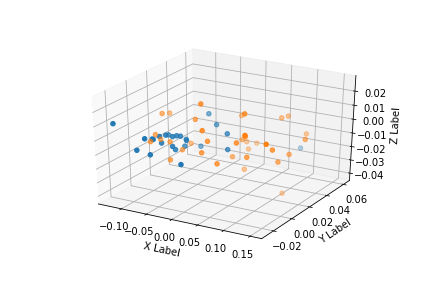
Для классификации использовался участок временной зависимости электрической комплексной проводимости резонатора фиксированной длины, ограниченный справа моментом времени высыхания. Исследовалась зависимость качества классификации от длины используемого участка (рис. 2).

Рис. 2 зависимость качества классификации от длины используемого участка кривой АМИ

a(u) = \mathrm{arg}\max_{y\in Y} \sum_{i=1}^m \bigl[ y(x_{i; u})=y \bigr] w(i,u),В результате была выбрана оптимальная длина записи – 270 точек.

В качестве предобработки записей использовалось сглаживание по 5 точкам и вырезание оптимального участка кривой АМИ. Часть собранной базы данных (35 записей) использовались для формирования пространства главных компонент размерности 3. 30 записей были использованы для тестирования алгоритма. Все остальные записи были разбиты на 2 класса:

1. цельное молоко + цельное молоко с 10% примесью раствора сухого молока (25 записей);
2. цельное молоко с 30% примесью раствора сухого молока + цельное молоко с 50% примесью раствора сухого молока + раствор сухого молока (36 записей).

Все данные, не использованные на этапе формирования пространства главных компонент, были спроецированы в это пространство (рис. 3, 4). Для классификации использовался взвешенный kNN

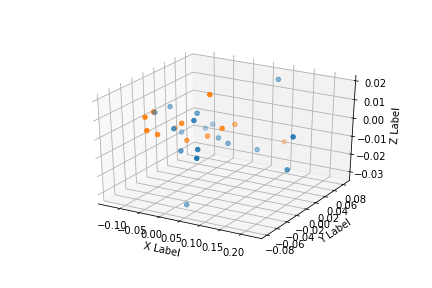
Рис. 3. Обучающая выборка в пр-ве главных компонент

Рис. 4. Тестовая выборка в пр-ве главных компонент

В результате проведенных исследований для стандартизации измерений был внесен ряд изменений в методику проведения эксперимента:

Производилась автоматическая подстройка резонансной частоты кварцевого резонатора перед каждым измерением

Фиксировался момент полного высыхания капли, и для классификации использовался участок временной зависимости электрической комплексной проводимости резонатора фиксированной длины, ограниченный справа моментом времени высыхания.

Все это позволило на существующей базе данных получить точность классификации порядка 86%.

1. Двуслойная нейронная сеть



input

SoftMax

Рис. 5. Архитектура используемой сети

Сеть была реализована на языке программирования python3 с использование библиотеки pytorch. В качестве входных данных использовались проекции исходных данных в пространство главных компонент.

net = torch.nn.Sequential(

torch.nn.Linear(3, 6),

torch.nn.Linear(6, 2),

torch.nn.Tanh(),

torch.nn.Linear(2, 2),

torch.nn.Tanh(),

torch.nn.Softmax()

) – послойное описание сети. Все слои – линейные, в качестве функции активации использовался гиперболический тангенс, в качестве функции потерь –

),

Алгоритм обучения сети – стохастический градиентный спуск с шагом 10-3.

Результат – 84% правильных ответов для молока и 80% правильных ответов для смеси.