

# ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

УДК 621.359.2:631.15  
DOI: 10.53083/1996-4277-2023-227-9-85-90

А.А. Багаев  
A.A. Bagaev

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СТЕНКИ СТЕБЛЯ КОРМОВЫХ ТРАВ

### EXPERIMENTAL RESEARCH FINDINGS ON POLARIZATION CHARACTERISTICS OF STEM WALL OF FORAGE GRASSES

**Ключевые слова:** кормовые травы, стенка стебля, электроосмотическое обезвоживание, поляризационные характеристики.

Повышение энергоэффективности таких электротехнологических процессов, как электроосмотическое обезвоживание и электроплазмолиз кормовых трав тесно связано с увеличением технологической и уменьшением термической составляющей тока, что является актуальной научно-технической проблемой. В перечисленных электротехнологических процессах растительный материал является элементом электрической цепи, электрофизические свойства которого целесообразно моделировать электрической эквивалентной схемой замещения. Целью исследования является экспериментальное подтверждение гипотезы о наличии у стенки стебля кормовых трав несимметричной нелинейной вольт-амперной характеристики. Используются основные положения теории электротехники, электрохимии, биофизики, электрических измерений, планирования эксперимента, статистических методов обработки результатов измерений. Анализ полученных поляризационных характеристик позволяет утверждать, что стенка стебля кормовых трав обладает несимметричной нелинейной поляризационной (вольт-амперной) характеристикой и является источником постоянной ЭДС, внешняя поверхность которой заряжена положительно, а внутренняя несет отрицательный заряд. Величина разности потенциалов составляет 0,5-0,7 В (костер безостый влажностью 80%). С увеличением частоты электромагнитных колебаний выпрямительные свойства стенки стебля ослабевают. Например, при частоте 180 Гц коэффициент выпрямления составляет 0,5. Форма поляризационной характеристики позволяет предполагать, что при протекании «прямого» тока, пересекающего стенку стебля в направлении от внутренней ее поверхности к наруж-

ной, лимитирующим скорость токо- и влагопереноса является внутренний потенциальный барьер (собственно стенка стебля). Лимитирующим скорость влагопереноса в «обратном» направлении при протекании тока, пересекающего стенку стебля в направлении от ее внешней поверхности к внутренней, является граничный потенциальный барьер (граница раздела двух фаз или двойной электрический слой). Следовательно, упомянутый потенциальный барьер оказывается смещенным в сторону внешней поверхности стенки стебля, что обуславливает наличие неидеального так называемого, вентильного эффекта. Установленные закономерности являются основанием для синтеза эквивалентной электрической схемы замещения стенки стебля и обоснованию путей повышения технологической составляющей тока и уменьшения его термического действия.

**Keywords:** forage grasses, stem wall, electroosmotic dehydration, polarization characteristics.

Increasing the energy efficiency of such electrotechnological processes as electroosmotic dehydration and electroplysmolysis of forage grasses is closely related to increasing the technological component and reducing the thermal component of the current which is an urgent scientific and technical problem. In the above mentioned electrotechnological processes, the plant material is an element of electric circuit; it is reasonable to simulate its electrophysical properties by an electrical equivalent substitution scheme. The research goal is the experimental confirmation of the hypothesis about the presence of asymmetric nonlinear volt-ampere characteristic at the stem wall of forage grasses. The basic provisions of the theory of electrical engineering, electrochemistry, biophysics, electrical measurements, experiment planning and statistical methods of measurement results processing were used. The

analysis of the obtained polarization characteristics allows stating that the wall of the forage grass stem has a non-symmetrical nonlinear polarization (volt-ampere) characteristic and is a source of constant EMF which outer surface is positively charged and the inner one carries a negative charge. The value of potential difference is 0.5...0.7 V (awnless brome of 80% moisture content). With increasing frequency of electromagnetic oscillations, the rectifying properties of the stem wall weaken. For example, at a frequency of 180 Hz, the rectification coefficient is 0.5. The shape of the polarization characteristic allows assuming that when a "direct" current crosses the stem wall in the direction from its inner surface to the outer one, the internal

potential barrier (the stem wall itself) is limiting the rate of current and moisture transfer. The boundary potential barrier (interface of two phases or double electric layer) is limiting the speed of moisture transfer in the "reverse" direction during the current flowing through the stem wall in the direction from its outer surface to the inner one. Consequently, the mentioned potential barrier is displaced towards the outer surface of the stem wall. This determines the presence of a non-ideal so-called vent effect. The revealed regularities are the basis for synthesizing the equivalent electrical substitution scheme of the stem wall and substantiation of ways to increase the technological component of the current and reduce its thermal effect.

**Багаев Андрей Алексеевич**, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: Bagaev7102@mail.ru.

**Bagaev Andrey Alekseevich**, Dr. Tech. Sci., Prof., Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: Bagaev7102@mail.ru.

### Введение

Повышение энергоэффективности таких электротехнологических процессов, как электроосмотическое обезвоживание и электроплазмоллиз [1, 2] тесно связано с увеличением технологической составляющей тока и уменьшением термической. Под технологической подразумевается составляющая полного тока, протекающего через стенку стебля и непосредственно способствующего процессу электроосмоса через клеточные оболочки-мембраны. При этом именно полным током возможно управлять в процессе реализации того или иного электротехнологического процесса.

В упомянутых электротехнологических процессах растительный материал является элементом электрической цепи, электрофизические свойства которого целесообразно моделировать электрической эквивалентной схемой замещения. Элементы, конфигурация схемы замещения и основные направления повышения энергоэффективности электротехнологических процессов могут быть обоснованы на основании анализа физических процессов в стенке стебля кормовых трав.

В работе [3] представлена математическая модель, предполагающая наличие анизотропных электро- и влагопроводных свойств стенки стебля, обусловленных гетерогенностью их структуры, и позволяющая предполагать наличие у нее неидеальных полупроводниковых свойств.

**Целью** исследования является экспериментальное подтверждение гипотезы о наличии у стенки стебля кормовых трав несимметричной нелинейной вольт-амперной характеристики.

### Методы и средства

Использованы основные положения теории электротехники, электрохимии, биофизики, электрических измерений, планирования эксперимента, статистических методов обработки результатов измерений.

### Экспериментальная часть

Схема *экспериментальной установки* для исследования поляризационных характеристик стенки стебля и ее общий вид представлены на рисунке 1.

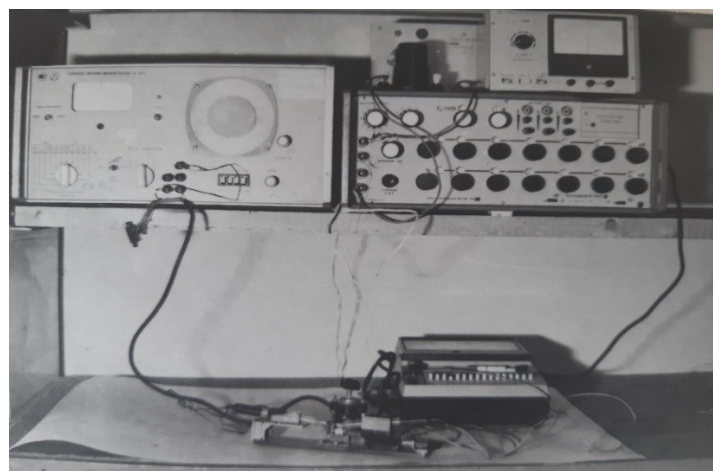
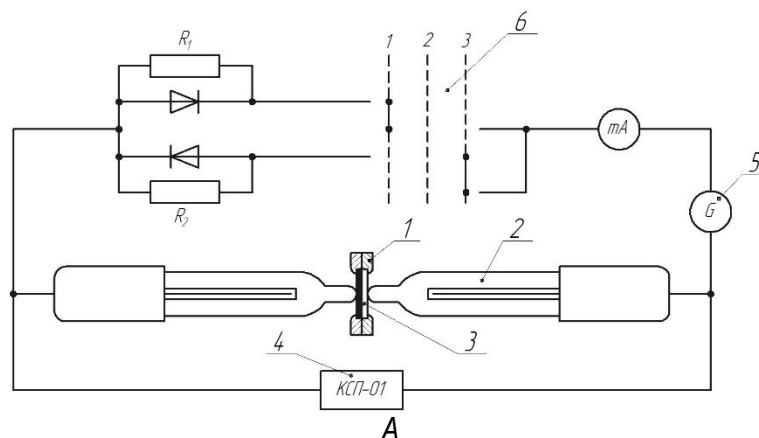
*Измерительная ячейка* показана на рисунке 2. При разработке измерительной ячейки было учтено, что материал измерительных электродов оказывает значительное влияние на величину контактного сопротивления. Если в качестве материала электрода используются металлы (ртуть, платина, золото, серебро, свинец, медь и др.), то при переходе через границу «растительная ткань-электрод» ионная проводимость сменяется электронной [4]. В силу значительного различия в числах переноса носителей заряда проводников первого (металлы) и второго (увлажненная растительная ткань) рода контактное сопротивление будет значительным, вносящим погрешность в результаты измерений.

Вместе с тем среди макроэлементов (т.е. таких элементов, концентрация которых не ниже 0,01% [5]) кормовых трав, основное в количественном отношении место занимают ионы калия  $K^+$ , натрия  $Na^+$  и хлора  $Cl^-$ : в 1 кг сухого вещества зеленых кормов содержится 15 г калия, 0,6 г натрия, 5-12 г хлора [5]. Указанные

ионы присутствуют в водных растворах электролита на внешней и внутренней поверхностях стебля.

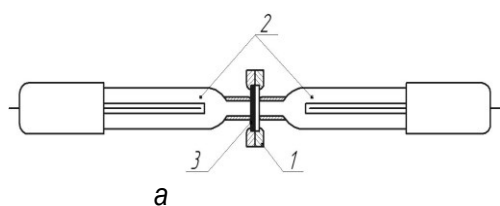
В связи с вышесказанным уменьшить контактное сопротивление возможно, применив так

называемый солевой мостик [6], содержащий в качестве контактирующего вещества концентрированный раствор количественно преобладающего иона, например,  $KCl$ .

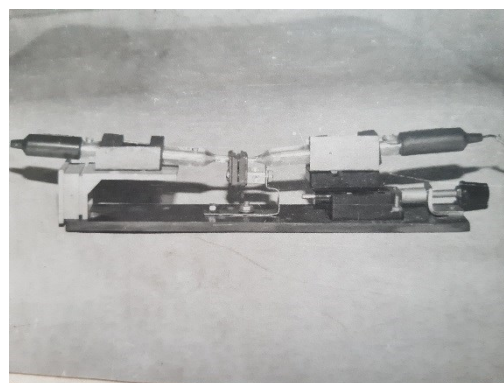


б

**Рис. 1. Схема установки для исследования вольт-амперных характеристик стенки стебля:**  
 а – общий вид, б – фото автора; 1 – кассета для исследуемого образца стенки стебля, 2 – хлорсеребряные электроды ЭВЛ-1МЗ, образец стенки стебля; потенциометр КСП-01, 5 – генератор синусоидальных колебаний ГЗ-109, 6 – трехпозиционный переключатель



а



б

**Рис. 2. Измерительная ячейка с электродами:**  
 а – общий вид, б – фото автора; 1 – кассета для исследуемого образца, 2 – хлорсеребряные электроды ЭВЛ-1МЗ, заполненные насыщенным раствором  $KCl$ , 3 – стенка стебля

Промышленностью выпускаются так называемые вспомогательные хлорсеребряные электроды ЭВЛ-1М, предназначенные для создания опорного потенциала при потенциометрических измерениях в водных растворах электролитов. Подобные электроды широко используются в биофизике и электрохимии для измерения потенциалов покоя и действия клеточных мембран [7].

*Методика подготовки образцов.* В качестве исследуемой злаковой кормовой культуры использовался Костер безостый (*Bromus inermis*). Отбор проб проводился в соответствии с требованиями ГОСТ 4808-87. Сено. Технические условия.

*Методика проведения измерений.* Стебель растения разрезается вдоль образующей, распрямляли и помещали между разъемными пластинами кассеты 1 (рис. 1а, 2а). Электроды 2 вводятся в контакт с поверхностями исследуемого образца. Толщина среза  $h=1,5 \cdot 10^{-3}$  м, площадь контакта  $S=3,14 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>. С помощью потенциометра 4 измеряется разность электрических потенциалов между внешней и наружной поверхностями стенки стебля. После чего, используя источник синусоидального напряжения 5, позволяющего изменять частоту электромагнитных колебаний, пропускали через стенку стебля выпрямленный с помощью диодов электрический ток, сначала одной полярности, затем другой. Направление протекания тока изменяется переключателем 6. Величина напряжения и его частота варьируются в соответствии с планом эксперимента. Одновременно потенциометром фиксируется напряжение на стенке стебля. Действующее значение протекающего через стенку стебля несинусоидального тока регистрируется амперметром 7.

Повторность измерений пятикратная, что обеспечивает принятые в технике доверительную вероятность 0,9 и допустимую ошибку  $\varepsilon$ , выраженную в долях среднеквадратичного отклонения  $\sigma$ , равную  $\varepsilon=\pm 1\sigma$ .

*Методика статистической обработки результатов измерений.* По результатам как минимум пятикратных измерений оценивалась дисперсия воспроизводимости, проводилась проверка однородности дисперсий по критерию Кохрена. Нормальность закона распределения производилась с использованием коэффициента асимметрии и эксцесса. Используя средние значения однофакторного эксперимента откли-

ка, производили аппроксимацию результатов с оценкой коэффициента взаимной корреляции  $R^2 \rightarrow 1$  [8].

### Результаты и обсуждение

Результаты измерений представлены на рисунке 3.

Анализ поляризационных характеристик, представленных на рисунке 3, позволяет сделать следующие выводы:

1. Стенка стебля кормовых трав обладает несимметричной нелинейной поляризационной (вольт-амперной) характеристикой.

2. Измерение разности потенциалов между внешней и внутренней поверхностями стенки стебля, проведенное в состоянии покоя (т.е. до наложения на стенку стебля электрического напряжения), показало, что стенка является источником постоянной ЭДС. Внешняя поверхность стенки стебля заряжена положительно, в то время как внутренняя несет отрицательный заряд. Величина разности потенциалов составляет 0,5-0,7 В (Костер безостый влажностью 80%).

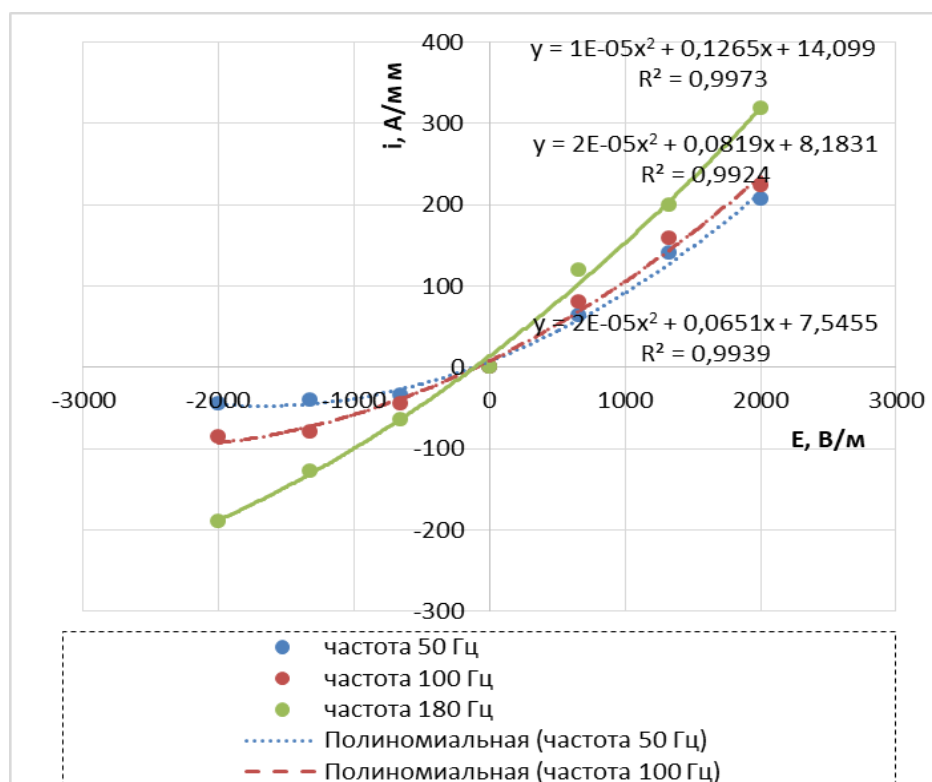
3. Разность электрических потенциалов между поверхностями стенки стебля  $\Delta\varphi = \varphi_{D1} - \varphi_{D2}$  [3] с увеличением плотности тока возрастает и в «прямом» и в «обратном» направлениях. При этом разность потенциалов  $\Delta\varphi$  способствует протеканию «прямого» тока, действуя с ним согласно, и препятствует протеканию тока «обратного».

4. С ростом частоты электромагнитных колебаний выпрямительные свойства стенки стебля ослабляются. Например, при частоте 180 Гц коэффициент выпрямления составляет 0,5.

5. Форма поляризационной (вольт-амперной) характеристики в соответствии с [9] позволяет предполагать, что при протекании «прямого» тока, пересекающего стенку стебля в направлении от внутренней ее поверхности к наружной, лимитирующим скорость токо- и влагопереноса является внутренний потенциальный барьер (собственно стенка стебля). При этом «прямая» ветвь вольт-амперной характеристики стенки стебля имеет наклон в сторону оси плотности тока. Лимитирующим скорость влагопереноса в «обратном» направлении при протекании тока, пересекающего стенку стебля в направлении от ее внешней поверхности к внутренней, является граничный потенциальный барьер (граница раздела двух фаз или двойной электрический слой

ДЭС), о чем свидетельствует наклон «обратной» ветви вольт-амперной характеристики в направлении оси напряженности электрического поля. Следовательно, упомянутый потенциальный

барьер оказывается смещенным в сторону внешней поверхности стенки стебля. Что обуславливает наличие так называемого неидеального вентильного эффекта.



**Рис. 3.** Зависимости плотности тока  $i$ , А/м<sup>2</sup>, стенки от напряженности электрического поля  $E$ , В/м (поляризационные вольт-амперные характеристики стебля), при различной частоте приложенного напряжения

### Заключение

Полученные поляризационные характеристики подтверждают выдвинутую в работе [1] гипотезу о существовании неидеального полупроводникового эффекта стенки стебля растительных тканей. Установленные закономерности являются основанием для синтеза эквивалентной электрической схемы замещения стенки стебля с последующим обоснованием путей повышения технологической составляющей тока и уменьшения его термического действия.

### Библиографический список

- Багаев, А. А. Электротехнология: учебное пособие / А. А. Багаев, Л. В. Куликова, А. И. Багаев. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2006. – 320 с. – Текст: непосредственный.
- Куликова, Л. В. Электротехнология: учебное пособие / Л. В. Куликова, А. А. Багаев. – Москва; Берлин: Директ-Медиа, 2021. – 372 с. – Текст: непосредственный.

- Багаев, А. А. Математическая модель влаго- и токопереноса через стенку стебля в процессе электроосмотического обезвоживания растительных материалов / А. А. Багаев. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2023. – № 8 (226). – С. 70-77. – DOI: 10.53083/1996-4277-2023-226-8-70-77. – EDN NBNANB.

- Плэмбек, Д. Электрохимические методы анализа / Д. Плэмбек; перевод с английского. – Москва: Мир, 1985. – 496 с. – Текст: непосредственный.

- Таранов, М. Т. Биохимия кормов / М. Т. Таранов, А. Х. Сабиров. – Москва: Агропромиздат, 1987. – 224 с. – Текст: непосредственный.

- Девис, С. Электрохимический словарь / С. Девис, А. Джеймс. – Ленинград: Химия, 1974. – 568 с. – Текст: непосредственный.

- Гладик, Ж. Биофизика / Ж. Гладик. – Москва: Энергоатомиздат, 1983. – 72 с. – Текст: непосредственный.

8. Семенов, Б. А. Инженерный эксперимент в промышленной теплотехнике, теплоэнергетике и теплотехнологиях: учебное пособие / Б. А. Семенов. – Санкт-Петербург: Лань, 2013. – 400 с. – Текст: непосредственный.

9. Рубин, А. Б. Биофизика. Биофизика клеточных процессов / А. Б. Рубин. – Москва: Высшая школа, 1987. – Кн. 2. – 303 с. – Текст: непосредственный.

### References

1. Bagaev A.A., Kulikova L.V., Bagaev A.I. Elektrotekhnologiya: uchebnoe posobie / A.A.Bagaev, L.V.Kulikova, A.I.Bagaev. – Barnaul: Izd-vo Altaiskogo GAU, 2006. – 320 s.

2. Kulikova L.V. Elektrotekhnologiya: uchebnoe posobie / L.V.Kulikova, A.A. Bagaev. – Moskva-Berlin: Direkt-Media, 2021. – 372 s.

3. Bagaev, A. A. Matematicheskaya model vlagi- i tokopere nosa cherez stenu stebliya v protsesse elektroosmoticheskogo obezvozhivaniya

rastitelnykh materialov / A. A. Bagaev // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2023. – No. 8 (226). – S. 70-77. – DOI: 10.53083/1996-4277-2023-226-8-70-77. – EDN NBNANB.

4. Plembek D. Elektrokhimicheskie metody analiza / per. s angl. – Moskva: Mir, 1985. – 496 s.

5. Taranov M.T., Sabirov A.Kh. Biokhimiya kormov. – M.: Agropromizdat, 1987. – 224 s.

6. Devis S., Dzheims A. Elektrokhimicheski slovar. – Leningrad: Khimiya, 1974. – 568 s.

7. Gladik Zh. Biofizika. – Moskva: Energoatomizdat, 1983. – 72 s.

8. Semenov B.A. Inzhenernyi eksperiment v promyshlennoi teplotekhnike, teploenergetike i teploekhnologiiakh: uchebnoe posobie. – Sankt-Peterburg: Lan, 2013. – 400 s.

9. Rubin A.B. Biofizika. Biofizika kletochnykh protsessov. – M.: Vyssh. shk., 1987. – Кн. 2. – 303 s.



УДК 620

DOI: 10.53083/1996-4277-2023-227-9-90-95

С.М. Гайдар, Р.Р. Мирзаев, А.М. Пикина

S.M. Gaydar, R.R. Mirzaev, A.M. Pikina

## РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПОВ ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОУРОВНЕВОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ТЕХНИКИ, ЭКСПЛУАТИРУЕМОЙ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

### DEVELOPMENT OF FORMATION PRINCIPLES OF A MULTI-LEVEL SYSTEM TO EVALUATE THE QUALITY OF EQUIPMENT OPERATED IN THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

**Ключевые слова:** многоуровневая система оценки качества техники, сельскохозяйственная техника, показатель эффективности, агропромышленный комплекс, математические методы, базы данных, системный подход, кластер, математическая модель, итерационность процесса.

Разработаны принципы формирования многоуровневой системы оценки качества сельскохозяйственной техники, эксплуатируемой в агропромышленном комплексе. Анализ и определение критериев и формализация показателей эффективности техники, эксплуатируемой в сельском хозяйстве, требуют применения системного подхода с учетом «внешней среды» эксплуатации. Из понятий «система» и «внешняя среда» следует, что всякая данная система допускает дальнейшее разбиение на самостоятельные части, называемые подсистемами. Элементы, принадлежащие к одной подсистеме, можно рассматривать как части «внешней среды» другой подсистемы. Это подчеркива-

ет иерархичность организации системы – с одной, и необходимость многоуровневого подхода в исследовании систем, с другой стороны, используя при этом понятия «надсистема», «подсистема» относительного содержания. Рассмотрение сущности и концепции реализации принципа формирования многоуровневой системы оценки качества сельскохозяйственной техники, эксплуатируемой в агропромышленном комплексе показало необходимость упорядочения данных (баз данных) на основе системного подхода. Именно он призван определять необходимость процесса упорядочения данных по разнонаправленным свойствам эксплуатации сельскохозяйственной техники в агропромышленном комплексе. Разработана специальная методика для оценки качества сельскохозяйственной техники, эксплуатируемой в агропромышленном комплексе, и применения ее в различных информационных ситуациях. Описание проведено на примере некоторого множества  $X = \{X\}$ , элементы которого в пределах рассматриваемой проблемы имеют различную природу.