

# ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ



УДК 631.223.2(571.1/.5)

**И.Я. Федоренко, Н.И. Капустин, В.В. Садов**  
I.Ya. Fedorenko, N.I. Kapustin, V.V. Sadov

## ОБОСНОВАНИЕ ОБЪЕМНО-ПЛАНИРОВОЧНЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ МОЛОЧНО-ТОВАРНОЙ ФЕРМЫ ДЛЯ УСЛОВИЙ СИБИРИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КЛАССИФИКАЦИОННОЙ МАТРИЦЫ

### SUBSTANTIATION OF SPACE-PLANNING AND TECHNICAL SOLUTIONS OF A DAIRY FARM FOR SIBERIAN CONDITIONS USING CLASSIFICATION MATRIX

**Ключевые слова:** планировка помещений для животных, оборудование для содержания крупного рогатого скота, технологии содержания животных, естественная вентиляция, автоматическое регулирование, ресурсосбережение.

Ресурсосбережение в животноводстве для Сибири является основным условием высокой эффективности. Максимальная эффективность может быть достигнута только при рациональной взаимосвязи всех составляющих технологического процесса – кормление, удаление навоза, сбор продукции, обеспечение микроклимата и т. д. Наиболее значимо в вопросе ресурсосбережения обеспечение микроклимата. Причем это зависит в первую очередь не от типа системы обеспечения микроклимата, а от выбранных объемно-планировочных решений зданий и технологических решений основных производственных процессов. Очевидно, что геометрически совершенными по минимизации теплопотерь, материалоемкости и максимальной прочности конструкций являются круглые в плане сферические здания. Прямоугольный в плане коровник на 200 гол. имеет материалоемкость на 18% большую, чем в виде квадрата и на 29% в сравнении с круглым при той же площади. Тип перекрытия зданий целесооб-

разный в Сибири с чердаком, что повышает затраты на строительство, но они окупаются в течение одного стойлового периода эксплуатации. Для обоснования выбора объемно-планировочного решения здания и технических средств обеспечения жизнедеятельности скота предлагается классификационная матрица, включающая наиболее распространенные архитектурные и объемно-планировочные решения зданий, технологии доставки и раздачи кормов, улавливания и удаления навоза, сбора продукции и обеспечения микроклимата. Приведенный пример использования матрицы показывает возможность ее использования как в анализе эффективности имеющихся животноводческих ферм, так и на стадии разработки новых. Выводы: 1) наиболее значимыми факторами, влияющими на ресурсосбережение при содержании КРС в условиях Сибири, являются объемно-планировочные решения здания, способ организации воздухообмена и управления режимом работы естественной вентиляционной системой; 2) выбор технологического оборудования на основе классификационной матрицы позволяет не только исключить их взаимную несовместимость при максимальной реализации потенциала каждого, но и ускорить проектирование при повышении качества.

**Keywords:** *planning animal facilities, equipment for cattle housing, animal housing technologies, natural ventilation, automatic control, resource-saving.*

Resource-saving in Siberian livestock-breeding is the main condition for high efficiency. The maximum efficiency may be achieved only with a rational relationship of all components of the process – nutrition, manure removal, collection of products, ensuring climate, etc. The most significant issue in resource-saving is microclimate maintenance. It depends primarily not on the type of microclimate maintenance system but on the selected space-planning decisions of buildings and technological solutions of the major production processes. Obviously, that the buildings geometrically perfect to minimize heat losses, material consumption and ensure maximum structural

strength are circular spherical buildings. Rectangular cowshed in plan for 200 animals has material consumption by 18% more than that of square plan, and by 29% as compared to round plans, the floor area being the same. Roof type suitable for Siberia is one with attic floor; this increases construction costs, but they pay off within one housing period. To substantiate the choice of volume-planning solutions of buildings and facilities for livestock housing, we proposed classification matrix which includes the most common architectural and volume-planning solutions of buildings, technologies of forage delivery and distribution, manure removal, product collection and microclimate maintenance. The presented example of the matrix use shows the possibility of its use to analyze the effectiveness of existing livestock farms and design new buildings.

**Федоренко Иван Ярославович**, д.т.н., проф., зав. каф. механизации производства и переработки сельскохозяйственной продукции, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-84-10. E-mail: ijfedorenko@mail.ru.

**Капустин Николай Игнатьевич**, к.т.н., доцент, каф. механизации производства и переработки сельскохозяйственной продукции, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-83-26. E-mail: ijfedorenko@mail.ru.

**Садов Виктор Викторович**, к.т.н., доцент каф. механизации производства и переработки сельскохозяйственной продукции, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-83-87. E-mail: sadov.80@mail.ru.

**Fedorenko Ivan Yaroslavovich**, Dr. Tech. Sci., Prof., Head, Chair of Agricultural Production Mechanization and Processing, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-84-10. E-mail: ijfedorenko@mail.ru.

**Kapustin Nikolai Ignatyevich**, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Chair of Agricultural Products Processing Mechanization, Altai State Agricultural University. E-mail: ijfedorenko@mail.ru.

**Sadov Viktor Viktorovich**, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Chair of Agricultural Production Mechanization and Processing, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-83-87. E-mail: sadov.80@mail.ru.

### Введение

Максимальная эффективность современной молочно-товарной фермы достигается за счет применения на ней современных технологий и систем, а особенностью такой фермы является тесная взаимосвязь ее организационной структуры, технологических и объемно-планировочных решений с целью обеспечения комфортных условия работы персонала, оборудования и содержания животных [1].

Проектируемые и строящиеся в настоящее время молочно-товарные фермы предусматривают основные производственные, обслуживающие и подсобно-вспомогательные здания. Объемно-планировочное решение должно делить всю территорию на участки по их функциональным признакам. Оптимальное размещение участков позволяет достичь минимизации затрат за счет внутрiferмских транспортных работ, снижения материальных, энергетических и трудовых затрат при улучшении условий труда.

Основное внимание при содержании животных уделяют процессам кормления, поения, доения и удаления навоза. О микроклимате в помещениях чаще всего забывают. В осенне-летний период, когда температура положительная, проблем с микроклиматом нет, так как газовый состав воздуха стабилен, а на изменение температуры и влажности воздуха у животных довольно хорошо развит механизм адаптации [2]. В весенне-зимний период находящиеся в помещении животные, оборудование и обслуживающий персонал требуют обеспечения нормируемого температурно-влажностного и газового режима. В условиях Сибири для этого необходимы высокое термическое сопротивление ограждающих конструкций и правильно выбранная система вентиляции. В противном случае повысятся энергозатраты, снизится продуктивность животных и т.д. [3].

На создание требуемых параметров микроклимата, а именно концентрацию газов, температуру, относительную влажность и скорость движения воздуха при

определенных объемно-планированных и конструктивных решений зданий и выбранной технологами технологии содержания основное влияние оказывают природно-климатические особенности местности, способ организации воздухообмена, тип вентиляционной системы, квалификация и добросовестность обслуживающего персонала. В Сибири при проектировании это учитывалось, и поэтому коровники не отапливаются и не отапливались. В последние годы проектные решения зачастую заимствованы из Европы, где климатические условия не соответствуют сибирским, соответственно, и подход к обоснованию как систем обеспечения микроклимата, так и других систем жизнеобеспечения животных должен быть иной. Но этого зачастую не происходит, что создало в первую очередь проблему с обеспечением микроклимата, ведущую не только к повышенным энергозатратам, но и низкой продуктивности животных [4].

**Объектом** исследования является технология содержания животных в помещении в стойловый период в условиях Сибири.

**Предмет** исследования – технологическое оборудование для содержания животных.

**Цель** работы – ресурсосбережение в животноводческих помещениях.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

1) анализ факторов, влияющих на ресурсосбережение при содержании КРС в помещениях в зимний период в условиях Сибири;

2) разработка классификационной матрицы для обоснования выбора объемно-планировочных решений зданий и технических средств обеспечения жизнедеятельности скота с учетом общепринятых критериев эффективности.

**Анализ факторов, влияющих на ресурсосбережение при содержании КРС в помещениях в зимний период в условиях Сибири.** В Алтайском крае наиболее распространенные типовые проекты животноводческих зданий имеют ширину от 18 до 48 м при длине от 72 до 150 м. Высота стен производственных зданий – не менее 3,2 м. Для коровника на 200 голов площадь потолка (помещение с чердаком) составляет около 1300 м<sup>2</sup>, а площадь стен – 580 м<sup>2</sup>. При общей площади ограждающих конструкций 1880 м<sup>2</sup> на долю стен приходится

31%, а на долю потолка – 69%. В зоне потолка температура в помещении выше, и при большем перепаде температур теплотери через потолок, при равном термическом сопротивлении стен и потолка, достигают 80%.

Нормируемое термическое сопротивление ограждений регламентировано для всех климатических зон и типов зданий, однако в процессе эксплуатации увлажнение конструкции может снизить ее термическое сопротивление вдвое, соответственно, требуются дополнительный расчет толщины слоя утеплителя и проверка на условие конденсации влаги на теплой стороне ограждающей конструкции. Но в практике строительства этому не уделяется внимания, и потолок утепляют недостаточно, что приходится делать в процессе эксплуатации. Первым признаком недостаточно утепленного потолка является выпадение на нем конденсата, т.к. температура поверхности потолка снижается до точки росы. Это ведет не только к повышенным теплотериям через потолок, ввиду его намокания и снижения термического сопротивления, но и к ухудшению микроклимата в целом – повышается относительная влажность, бактериальная обсемененность и быстро разрушаются строительные конструкции. Общие теплотери зависят не только от состояния конструкций, но и от геометрического совершенства здания.

В здании общей площадью ограждений 1880 м<sup>2</sup> на одно животное приходится более 9 м<sup>2</sup> площади ограждения и 18 м<sup>3</sup> объема помещения при площади пола на одно животное 6 м<sup>2</sup>. Выполнение здания в плане в виде квадрата уменьшает его периметр со 170 до 140 м, т.е. на 18%. Геометрически совершенным в плане (минимальный периметр на единицу площади) является здание в форме круга с периметром 120 м, т.е. периметр уменьшится на 29% (рис. 1). Соответственно, снизятся не только затраты на строительство, но и теплотери через стены в процессе эксплуатации.

Применение геометрически совершенных вариантов, близких к шару или сфере, мы наблюдаем в природе и во всех отраслях производства. Но при проектировании заказчик все-таки отдаст предпочтение прямоугольному длинному зданию, под давлением стереотипа мышления технологов, обосновывающих свое решение проверенной практикой увязкой всех техноло-

гических элементов. Прямоугольное здание и мобильная раздача кормов ведут не только к повышению теплопотерь и снижению полезной площади на одно животное до 50%, но и соответствующему увеличению стоимости здания. Энергозатраты на поддержание температуры в помещении в зимний период неизбежно возрастут. При мобильной раздаче кормов ворота размером 3×3 м открываются, и через проемы площадью 9 м<sup>2</sup> в течение 12-20 мин. (3-5 мин. на один проем) поступает наружный воздух со скоростью от 1 до 3 м/с. В помещение поступает за кормораздачу более 10000 м<sup>3</sup> наружного воздуха, причем преимущественно в торцевые части, и теплопотери увеличиваются в среднем на 56 кВт/ч. Скорость движения воздуха в шахтах естественной вытяжки резко возрастает, обеспечивая удаление тёплого воздуха из потолочной зоны помещения.

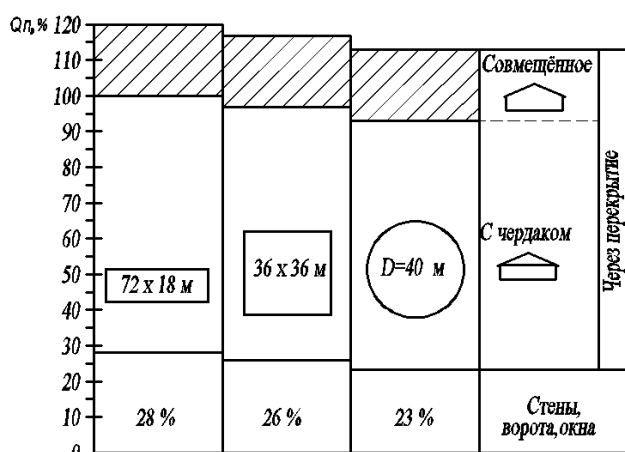


Рис. 1. Зависимость теплопотерь здания от объемно-планировочного решения

При неэффективной системе вентиляции воздухообмен осуществляется только в период раздачи кормов, а в ночной период воздухообмен происходит в течение 12 ч только за счет инфильтрации, при объеме помещения на одно животное 18 м<sup>3</sup>. Очевидно, что периодическими заездами кормораздатчиков проблему не решить. Зачастую от такого воздухообмена больше вреда, чем пользы, т.к. при многократном открывании ворот при низких температурах нарушается их герметичность, и торцы здания переохлаждаются, что ведет к замерзанию воды в крайних поилках и транспортеров в навозных каналах. Даже открытие дверей при входе в помещение с улицы

обслуживающим персоналом ведет к прорыву больших объемов наружного воздуха с одновременным увеличением скорости движения воздуха в вытяжных шахтах. При этом холодный наружный воздух настилается на пол и движется к центру, насыщаясь влагой и аммиаком с поверхности навозных каналов и настилов, охлаждая зону лежания животных, а в зону дыхания воздух доходит насыщенный аммиаком и сероводородом [5].

Поэтому в рекомендациях отечественных и зарубежных исследователей к воздухообмену через двери и ворота относятся отрицательно [6], но полностью исключить неорганизованный воздухообмен за счет инфильтрации и эксфильтрации в зимний период невозможно. При естественной вентиляции он достигает 30% от нормируемого (однократного для производственных помещений). Величина его в основном зависит от скорости ветра, состояния ограждающих конструкций, ориентации здания и способа организации воздухообмена. В случае воздушного подпора в помещении за счет искусственного притока воздуха инфильтрация отсутствует [7]. В Алтайском крае скорость ветра в период буранов достигает 25 м/с и неучет инфильтрации при разработке систем вентиляции ведет к повышенным, против расчетных, воздухообмену и энергозатратам. При этом рационально организовать воздухообмен в здании с совмещенным перекрытием сложнее, чем в здании с чердаком.

Неорганизованный воздухообмен при открытии дверей и ворот может быть минимизирован, если в период их открытия закрыть шахты естественной вытяжки, т.к. избыточное давление в помещении будет противодействовать прорыву наружного воздуха, но в ручном режиме это нереализуемо. Проводимые в этом направлении работы показали, что кинематической связью между воротами и шахтами решить эту проблему достаточно сложно ввиду большой протяженности здания. Более эффективно решить проблему неорганизованного воздухообмена возможно установкой на каждой из вытяжных шахт дефлекторов [8] и автоматических закрывающих устройств, обеспечивающих устойчивость режима работы и стабильный расход воздуха вне зависимости от перепадов давления и скорости ветра [9, 10].

**Разработка классификационной матрицы для обоснования выбора конструктивных решений зданий и технических средств обеспечения жизнедеятельности скота с учетом критериев эффективности.** Кроме способов организации воздухообмена и устройств, их реализующих, объемно-планировочные решения для привязной и беспривязной технологии содержания зависят и от иных факторов. Так на фермах с малым поголовьем возможен способ раздачи корма без заезда мобильного кормораздатчика в помещение, что исключает кормовые проезды, соответственно, повышается коэффициент использования здания. Аналогичный эффект может быть достигнут и при конвейерной дозированной раздаче корма. Проблема накопления и удаления навоза для условий Сибири в зимний период зачастую преобладает над другими. В период экстремально низких температур, буранов, ведущих к отключению электроэнергии, поломок оборудования навозоудаления необходимо исключить негативные последствия. Поэтому для Сибири целесообразны накопительные системы на глубокой несменяемой подстилке или с заглубленными навозными каналами, закрытыми решеткой. Не вызывает сомнений целесообразность использования для доения коров специализированных доильных площадок. Однако строительство отдельно стоящих доильных залов для Сибири зачастую не целесообразно. Так, для коровника на 200 голов с привязной технологией содержания может быть более целесообразен вариант размещения доильной площадки непосредственно в коровнике с применением доильной установки «Елочка» и комбинированной конвейерной технологией содержания. Приведенные примеры показывают, что простой перенос зарубежных типов зданий нецелесообразен, и в каждом конкретном проекте должны быть взаимосвязаны все составляющие технологического процесса, что и является задачей нашей дальнейшей работы. При этом необходимо для оценки эффективности каждой из составляющих технологий содержания животных для конкретного варианта использовать общепринятые критерии: теплоустойчивость зданий, надежность, технологическая оснащенность, эксплуатационная энергоёмкость, трудозатраты, продуктив-

ность животных и т. п., а составляющие технологического процесса отобразить в виде матрицы вариантов (рис. 2) по аналогии с рассмотренным примером зависимости теплопотерь.

Рассмотрим один из вариантов. Наименьшую площадь ограждающих конструкций будет иметь круглый коровник, который и примем в качестве основного помещения. Для снижения затрат на оборудование в коровнике примем беспривязную боксовую технологию содержания. Доставка кормов из кормоцеха мобильным средством с перегрузкой в тележки с электроприводом, подвешенные на рельсах и перемещающиеся над кормушками, что повышает эффективность использования площади помещения. Доение предусмотрено на доильной площадке, выделенной в центре помещения и оборудованной проходными станками с независимым вводом животных и снабженной автоматическими кормушками для концентратов, причем и в период между дойками в этих же станках может происходить программируемое кормление с учетом продуктивности. Навоз накапливается на полу скотопрогонов, с которого удаляется стационарной скреперной установкой в навозосборник. Воздухообмен обеспечивается вытяжкой воздуха через вентиляционный фонарь, установленный по центру перекрытия, приток воздуха – через проемы в стенах.

Такой набор технологического оборудования позволит значительно снизить как начальные, так и эксплуатационные затраты, соответственно, снизить себестоимость производимой продукции.

### Выводы

1. Наиболее значимыми факторами, влияющими на ресурсосбережение при содержании КРС в условиях Сибири, являются объемно-планировочные решения здания, способ организации воздухообмена и управление режимом работы естественной вентиляционной системой.

2. Выбор технологического оборудования на основе классификационной матрицы позволяет не только исключить их взаимную несовместимость при максимальной реализации потенциала каждого, но и ускорить проектирование при повышении его качества.



**Библиографический список**

1. Проничев Н.П., Науменко Г.В., Сmealов Т.С. Системная оценка технологии привязного содержания скота // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1996. – № 9. – С. 9-11.

2. CLGR, 2002. Climatization of Animal Houses. Head and Moisture Production at Animal and House Level. Published by Danish Institute of Agricultural Sciences. Denmark. ISBN 87-88876-60-2261.

3. Позин Г.М., Козлова Н.П., Максимов Н.В., Самсонов А.М. Системы вентиляции современных помещений для содержания крупного рогатого скота [Электронный ресурс] - [http://pticainfo.ru/article/?ELEMENT\\_ID=2973](http://pticainfo.ru/article/?ELEMENT_ID=2973).

4. Рымкевич А.А. Системный анализ оптимизации общеобменной вентиляции и кондиционирования воздуха. – М.: Стройиздат, 1990. – 300 с.

5. Капустин В.Н. Повышение эффективности системы естественной вентиляции в помещениях для КРС путем автоматического регулирования расхода воздуха: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Барнаул, 2011. – 16 с.

6. Behens G. Freie Lueftung in der Milchproduktion, ein Beispiel fuer energiesparende und gesunde Haltung // Tierzucht. – 1984. – Nr. 1. – S. 32-34.

7. Roy J.C., Boulard T., Kittas C., Wang S. Convective and ventilation transfers in greenhouses, Part 1: Greenhouse considered as a perfectly stirred tank // Biosystems Engineering. – 2002. – Vol. 83. – P. 1-20.

8. Шведов В.В. Естественная вентиляция в животноводческих помещениях // Техника в сельском хозяйстве. – 1975. – № 3. – С. 32-35.

9. Пат. RU № 2487303 Российская Федерация, МПК F24F 11/00. Устройство для регулирования расхода воздуха / Н.И. Капустин, В.А., И.Я. Федоренко, В.А. Демин, В.Н. Капустин. Заявка № 2012119114/12; заявл. 10.05.2012; опубли. 10.07.2013 г., Бюл. № 19.

10. Капустин Н.И., Капустин В.Н., Бырдин И.Н. Обоснование элементов приточно-вытяжной естественной вентиляции животноводческих помещений с автоматическим регулированием // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2009. – № 7 (57). – С. 58-61.

zatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva. – 1996. – № 9. – С. 9-11.

2. CLGR, 2002. Climatization of Animal Houses. Head and Moisture Production at Animal and House Level. Published by Danish Institute of Agricultural Sciences. Denmark. ISBN 87-88876-60-2261.

3. Pozin G.M., Kozlova N.P., Maksimov N.V., Samsonov A.M. Sistemy ventilyatsii sovremennykh pomeshcheniy dlya soderzhaniya krupnogo rogatogo skota. [Elektronnyy resurs]. – [http://pticainfo.ru/article/?ELEMENT\\_ID=2973](http://pticainfo.ru/article/?ELEMENT_ID=2973).

4. Rymkevich A.A. Sistemnyy analiz optimizatsii obshcheobmennoy ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukhа. – М.: Stroyizdat, 1990. – 300 с.

5. Kapustin V.N. Povyschenie effektivnosti sistemy estestvennoy ventilyatsii v pomeshcheniyakh dlya KRS putem avtomaticheskogo regulirovaniya raskhoda vozdukhа: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. – Barnaul, 2011. – 16 s.

6. Behens G. Freie Lueftung in der Milchproduktion, ein Beispiel fuer energiesparende und gesunde Haltung // Tierzucht. – 1984. – Nr. 1. – S. 32-34.

7. Roy J.C., Boulard T., Kittas C., Wang S. Convective and ventilation transfers in greenhouses, Part 1: Greenhouse considered as a perfectly stirred tank // Biosystems Engineering. – 2002. – Vol. 83. – P. 1-20.

8. Shvedov V.V. Estestvennaya ventilyatsiya v zhivotnovodcheskikh pomeshcheniyakh // Tekhnika v sel'skom khozyaystve. – 1975. – № 3. – С. 32-35.

9. Пат. RU № 2487303 Rossiyskaya Federatsiya, MPK F24F 11/00. Ustroystvo dlya regulirovaniya raskhoda vozdukhа / N.I. Kapustin, I.Ya. Fedorenko, V.A. Demin, V.N. Kapustin. Zayavka № 2012119114/12; zayavl. 10.05.2012; opubl. 10.07.2013 g., Byul. № 19.

10. Kapustin N.I., Kapustin V.N., Byrdin I.N. Obosnovanie elementov pritochno-vytyazhnoy estestvennoy ventilyatsii zhivotnovodcheskikh pomeshcheniy s avtomaticheskim regulirovaniem // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2009. – № 7 (57). – С. 58-61.

*Код государственной услуги работы (11.040.1). Тема «Разработка энергосберегающей технологии поддержания необходимых параметров воздушной среды для обеспечения нормальной жизнедеятельности в животноводческих помещениях и комплексах, а также других производственных помещениях сельскохозяйственного назначения»*

**References**

1. Pronichev N.P., Naumenko G.V., Smealov T.S. Sistemnaya otsenka tekhnologii privyaznogo soderzhaniya skota // Mekhani-