

## Расчёт энергоэффективности при проектировании теплозащиты наружных ограждающих конструкций объектов агропромышленного комплекса

*С.В. Митрофанов, к.т.н., В.Ю. Соколов, к.т.н., С.А. Наумов, к.т.н., В.Б. Шлейников, к.т.н., А.В. Садчиков, к.т.н., В.Е. Дудоров, к.с.-х.н., ФГБОУ ВО Оренбургский ГУ; Р.Ф. Сагитов, к.т.н., ООО НИПИЭП*

Целью расчёта энергоэффективности является определение толщины тепловой изоляции наружных стен и покрытия зданий с учётом тепловыделений, поступающих от биореакторов, установленных в здании АПК.

Актуальность проблемы состоит в том, что в настоящее время при проектировании комплексов зданий для АПК органы экспертизы предъявляют жёсткие требования к разделам проекта – отопление и вентиляция. В настоящее время ООО «Научно-исследовательский и проектный институт экологических проблем» в сотрудничестве с электроэнергетическим факультетом Оренбургского государственного университета разработали методику расчёта энергоэффективности при проектировании теплозащиты наружных ограждающих конструкций зданий и сооружений, позволяющую снизить затраты на системы отопления и вентиляции, предусматриваемые в проекте.

Технологические процессы в агропромышленном комплексе при очистке воды связаны со значительными тепловыделениями от экзотермических реакций окисления микроорганизмами органического содержимого стоков. Основными источниками тепловыделений являются биореакторы [1, 2]. На основании этого были сформированы исходные данные для расчёта.

Исходные данные для расчёта энергоэффективной теплозащиты наружных ограждающих конструкций зданий и сооружений АПК приведены на рисунке 1 [3].

К параметрам наружного и внутреннего воздуха относятся:

- расчётная температура наружного воздуха (СП 131.13330.2012 Строительная климатология), град. С;

- температура воздуха в помещении (ГОСТ 12.1.005–88\* ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны или нормативных документов), град. С;

- минимальная температура стоков (принимается в соответствии технологическими требованиями), град. С.

Размеры здания включают следующие параметры:

- длину, м (определяется по чертежам АС);
- ширину, м (определяется по чертежам АС);
- высоту, м (определяется по чертежам АС).

При характеристике окон учитывают: суммарную площадь окон,  $m^2$  (определяется по чертежам АС); термическое сопротивление окна,  $(m^2 \cdot \text{град.С})/Вт$  (определяется по данным завода-изготовителя); при характеристике дверей: суммарную площадь дверей,  $m^2$  (определяется по чертежам АС); термическое сопротивление двери  $(m^2 \cdot \text{град.С})/Вт$  (определяется по данным завода-изготовителя или по справочным данным); при характеристике ворот: суммарную площадь ворот,  $m^2$  (определяется по чертежам АС); термическое сопротивление ворот,  $(m^2 \cdot \text{град.С})/Вт$  (определяется по данным завода-изготовителя или по справочным данным).

К габаритным размерам ёмкости биореактора-аэротенка относятся: длина стороны верхней части, м (определяется по чертежам биореактора-аэротенка); длина стороны нижней части, м (определяется по чертежам биореактора-аэротенка); высота, м (определяется по чертежам биореактора-

аэротенка); количество ёмкостей в помещении КОС, шт.

При характеристике материала корпуса ёмкости биореактора-аэротенка учитывают: толщину стенки корпуса, мм; удельную теплопроводность материала корпуса (ориентировочно – сталь 50 Вт/(м·град.С), полимер – 0,38 Вт/(м·град.С).

По исходным данным выполняется поверочный расчёт (прямая задача) (рис. 2) и конструкторский расчёт (обратная задача) (рис. 3) [3–9].

Поверочный расчёт позволяет определить по исходным данным необходимую минимальную толщину утеплителя тепловой изоляции наружных стен и покрытия зданий и сооружений АПК.

Расчёт выполняется в следующей последовательности (рис. 2):

– задаётся температура поверхности ёмкости биореактора (предварительно её можно принять равной температуре стоков);

– предварительно заданная температура сопоставляется с расчётной температурой поверхности ёмкости. Если предварительно заданная отличается от расчётной температуры, то она приравнива-

ется к расчётной. Процесс этот итерационный и выполняется до тех пор, пока предварительно заданная температура не сравняется с расчётной температурой;

– определяются теплопотери в грунт. Если пол на грунте без утеплителя, то толщина утеплителя задаётся равной нулю. Если пол на грунте утеплён, то необходимо задать удельную теплопроводность утеплителя (удельная теплопроводность утеплителя не должна быть равна нулю);

– задаётся температура поверхности ёмкости биореактора (предварительно её можно принять равной температуре стоков);

– предварительно заданная температура сопоставляется с расчётной температурой поверхности ёмкости. Если предварительно заданная отличается от расчётной температуры, то она приравнивается к расчётной. Процесс этот итерационный и выполняется до тех пор, пока предварительно заданная температура не сравняется с расчётной температурой;

– определяются теплопотери в грунт. Если пол на грунте без утеплителя, то толщина утеплителя

#### Параметры наружного и внутреннего воздуха

Расчётная температура наружного воздуха	–13.0	град. С
Температура воздуха в помещении	12.0	град. С
Минимальная температура стоков	28.0	град. С

#### Размеры здания

Длина	24.0	м
Ширина	11.6	м
Высота	6.0	м
Площадь поверхности пола (потолка)	278.4	м <sup>2</sup>
Площадь поверхности стен (с учётом площади окон, дверей и ворот)	427.2	м <sup>2</sup>

#### Характеристика окон

Суммарная площадь окон	34.5	м <sup>2</sup>
Термическое сопротивление окна	0.38	(м <sup>2</sup> ·град.С)/Вт

#### Характеристика дверей

Суммарная площадь дверей	2.4	м <sup>2</sup>
Термическое сопротивление двери	0,21	м <sup>2</sup> ·град.С)/Вт

#### Характеристики ворот

Суммарная площадь ворот	10.5	м <sup>2</sup>
Термическое сопротивление ворот	0.42	м <sup>2</sup> ·град.С)/Вт

#### Габаритные размеры ёмкости (открытой поверхности)

Длина стороны верхней части	2.4	м
Длина стороны нижней части	2.0	м
Высота	3.0	м
Площадь открытой поверхности ёмкости	26.4	м <sup>2</sup>
Площадь зеркала испарения ёмкости	5.8	м <sup>2</sup>
Количество ёмкостей	18.0	шт.
Суммарная площадь открытой поверхности всех ёмкостей	475.2	м <sup>2</sup>
Площадь зеркала испарения всех ёмкостей	103.7	м <sup>2</sup>

#### Материал корпуса ёмкости

Толщина стенки корпуса	5.0	мм
Удельная теплопроводность материала корпуса	50.06	Вт/(м*град.С)

Рис. 1 – Исходные данные для расчёта энергоэффективной теплозащиты наружных ограждающих конструкций зданий и сооружений АПК

задаётся равной нулю. Если пол на грунте утеплён, то необходимо задать удельную теплопроводность утеплителя (удельная теплопроводность утеплителя не должна быть равна нулю);

– определяются теплопотери через окна. Необходимо задать добавку на ориентацию (для типовых проектов принимается равной 0,08 доли);

– определяются теплопотери через двери. Необходимо задать добавку на ориентацию (для типовых проектов принимается равной 0,08 доли);

– определяются теплопотери через ворота. Необходимо задать добавку на ориентацию (для типовых проектов принимается равной 0,08 доли);

– определяются затраты теплоты на нагрев вентиляционного воздуха (нагрев которого осуществляется за счёт теплоты, выделяемой биореакторами-аэротенками);

– определить кратность воздухообмена, разделив суммарное количество вентиляционного воздуха на строительный объём здания. Для этого необходимо определить по проекту (раздел ОВ) суммарное количество вентиляционного воздуха. Определить по проекту строительный объём здания (раздел АС);

– определяется минимальная допустимая толщина утеплителя. Для этого необходимо задать

**Теплоотдача от ёмкостей**

Температура поверхности стенки ёмкости (предварительно)	28.0	град.С
Конвективная теплоотдача с открытой поверхности ёмкостей	4.2	Вт/(м <sup>2</sup> ·град.С)
Лучистый теплообмен с открытой поверхности ёмкостей	4.9	Вт/(м <sup>2</sup> ·град.С)
Термическое сопротивление поверхности стенки ёмкости	0.0001	(м <sup>2</sup> ·град.С)/Вт
Удельная теплопередача с поверхности ёмкости	145.7	Вт/м <sup>2</sup>
Расчетная температура поверхности стенки ёмкости	28.0	град.С
Общее количество теплоты от поверхности всех ёмкостей	69316	Вт
Теплота, отдаваемая с поверхности жидкости	91.4	Вт/м <sup>2</sup>
Общее количество теплоты с поверхности жидкости всех ёмкостей	9472	Вт
Общее количество теплоты от всех ёмкостей	<b>78789</b>	<b>Вт</b>

**Теплопотери в грунт**

Термическое сопротивление 1-й зоны	2.1	(м <sup>2</sup> ·град.С)/Вт
Термическое сопротивление 2-й зоны	4.3	(м <sup>2</sup> ·град.С)/Вт
Термическое сопротивление 3-й зоны	8.6	(м <sup>2</sup> ·град.С)/Вт
Утеплитель, удельная теплопроводность	0.1	Вт/(м <sup>2</sup> ·град.С)
Толщина утеплителя	0.0	м
Теплопотери 1-й зоны	1695	Вт
Теплопотери 2-й зоны	549	Вт
Теплопотери 3-й зоны	167	Вт
Общие теплопотери в грунт	<b>2412</b>	<b>Вт</b>

**Теплопотери через окна**

Добавки на ориентацию	0.08	доли
Теплопотери через остекление здания	<b>1725</b>	<b>Вт</b>

**Теплопотери через двери**

Добавки на ориентацию	0.08	доли
Теплопотери через двери	<b>175</b>	<b>Вт</b>

**Теплопотери через ворота**

Добавки на ориентацию	0.08	доли
Теплопотери через ворота	<b>489</b>	<b>Вт</b>

**Воздухообмен помещения**

Кратность воздухообмена	2.0	1/ч
Расход инфильтрационного воздуха	3341	м <sup>3</sup> /ч
Теплопотери на нагрев вентиляционного воздуха	<b>28965</b>	<b>Вт</b>

**Расчёт оболочки здания**

Суммарные теплопоступления в помещении	<b>45023</b>	
Площадь поверхности оболочки (стены и покрытие)	658.2	м <sup>2</sup>
Удельный тепловой поток	2.74	Вт/(м <sup>2</sup> ·град.С)
Утеплитель, усредненная удельная теплопроводность	0.05	Вт/(м <sup>2</sup> ·град.С)
Искомая минимальная толщина утеплителя	<b>0.018</b>	м

Рис. 2 – Поверочный расчёт (прямая задача)

удельную теплопроводность утеплителя. Если суммарные теплопоступления в помещение (за вычетом теплопотерь через пол на грунте, окна, двери, ворота и затрат теплоты на нагрев вентиляционного воздуха) получаются отрицательными, то необходимо уменьшить теплопотери, например утеплить пол на грунте или часть воздухообмена пустить через приточные установки с нагревом наружного воздуха, или изменить габариты здания КОС.

Конструкторский расчёт (рис. 3) позволяет определить по исходным данным и данным по толщине материала утеплителя стен и покрытия температуру воздуха в помещении.

Расчёт выполняется в следующей последовательности:

- задаётся толщина утеплителя стены, м.;
- задаётся толщина утеплителя покрытия, м.;
- задаётся удельная теплопроводность утеплителя стены, Вт/(м·град.С);
- задаётся удельная теплопроводность утеплителя покрытия, Вт/(м·град.С);
- корректируется фактическая температура (до десятых град. С.) таким образом, чтобы неувязка стала минимальной.

Расчёт энергоэффективности при проектировании теплозащиты наружных ограждающих конструкций КОС даёт возможность оптимизировать толщину тепловой изоляции, позволяет обосновать выбор конструкции окон, дверей, ворот, принять решение по утеплению пола на грунте, при необходимости определить нагрузку на дополнительный нагрев части вентиляционного воздуха.

**Проектные решения**

Фактическая толщина утеплителя стены	0.10	м
Фактическая толщина утеплителя покрытия	0.20	м
Утеплитель стен, удельная теплопроводность	0.05	Вт/(м·град.С)
Утеплитель покрытия, удельная теплопроводность	0.05	Вт/(м·град.С)
Фактическая температура воздуха в помещении	17.6	град.С

**Теплопотери**

Термическое сопротивление наружных стен здания	2.0	(м <sup>2</sup> ·град.С)/Вт
Термическое сопротивление покрытия здания	4.0	(м <sup>2</sup> ·град.С)/Вт
Теплопотери через наружные стены здания	5381	Вт
Теплопотери через покрытие здания	2043	Вт
Теплопотери в грунт	2952	Вт
Теплопотери через остекление здания	2111	Вт
Теплопотери через двери	214	Вт
Теплопотери через ворота	598	Вт
Теплопотери на нагрев вентиляционного воздуха	35454	Вт
Суммарные теплопотери	48758	Вт

**Теплопоступления**

Конвективная теплоотдача с открытой поверхности ёмкостей	3.6	Вт/(м <sup>2</sup> ·град.С)
Лучистый теплообмен с открытой поверхности ёмкостей	5.1	Вт/(м <sup>2</sup> ·град.С)
Общее количество теплоты от поверхности всех ёмкостей	42985	Вт
Теплота, отдаваемая с поверхности жидкости	59.4	Вт/м <sup>2</sup>
Общее количество теплоты с поверхности жидкости всех ёмкостей	6157	Вт
Общее количество теплоты от всех ёмкостей	49142	Вт
<b>Неувязка</b>	<b>0.8</b>	<b>%</b>

Рис. 3 – Конструкторский расчёт (обратная задача)

**Литература**

1. Аппаратный тип технологического процесса при очистке сточных вод / Е.В. Левин, Р.Ф. Сагитов, А.Д. Буракаева [и др.] // Экология и промышленность России. 2015. № 2. С. 8–12.
2. Решение проблемы очистки сточных вод при использовании аппаратного типа технологического процесса / Е.В. Левин, С.В. Шабанова, Р.Ф. Сагитов [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2015. № 1 (51). С. 55–57.
3. Алоян Р.М., Федосов С.В., Опарина Л.А. Энергоэффективные здания – состояние, проблемы и пути решения. Иваново: ПресСто, 2016. 276 с.
4. Патент на изобретение №2238247 «Установка микробиологической очистки сточных вод» / Левин Е.В., Пастухова Г.В., Деманов В.А.
5. Комплексы очистки сточных вод блочно-аппаратного типа. ТУ 4859-002-51008612-2014.
6. «Комплексы очистки сточных вод моноблочного типа» ТУ 4859-001-51008612-2014.
7. Станции очистки производственно-дождевых сточных вод ТУ 4859-012-51008612-2007.
8. Станции биологической очистки хозяйственно-бытовых сточных вод СБО-18 ТУ 4859-017-510086126-2007.
9. Gulak M. Z. About the Rational Utilization of Various Waste Products Resulting from the National Economic Activity on the Territory of the Orenburg Region / Evgeniy Vladimirovitch Levin, Ramil Fargatovitch Sagitov, Stanislav Vladyslavovytch Antimonov, Svetlana Petrovna Vasilevskaia // Middle-East Journal of Scientific Research 21 (8): 1280–1282, 2014.