

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ**
Заключительный этап
Исследовательский сектор. Испытания.
Солнечный опреснитель
ФИНАЛЬНЫЙ КОМАНДНЫЙ КЕЙС

Критерии оценивания

Анализ принципов работы технологий: 40 баллов

Общие принципы (20 баллов)

Понимают, как работает солнечный опреснитель, какие превращения энергии происходят при его работе.

Анализ влияющих факторов (20 баллов)

Могут объяснить какие факторы могут оказать влияние на производительность солнечного опреснителя и в какой степени.

Моделирование систем и процессов: 80 баллов

Формулировка гипотезы (30 баллов)

Предложен способ нахождения площади солнечной опреснительной станции требуемой производительности: перечислены физические законы и их взаимосвязь, а также указано для чего должны использоваться данные с опреснителя, находящегося в помещении

Математическое описание модели (40 баллов)

Приведены расчетные формулы для нахождения площади опреснительной станции с учетом эффективности одного опреснителя, введены поправки тепловых потерь, учитывающие скорость ветра и изменение температуры жидкости, приведены выражения для нахождения эффективности одного опреснителя, стоящего в лаборатории.

Расчет и его анализ (30 баллов)

Проведен расчет площади опреснительной станции, обеспечивающей требуемую суточную производительность по пресной воде с учетом переменных климатических условий в течение дня. Проведен анализ полученного результата.

Постановка и проведение эксперимента: 80 баллов

Методика-1 (20 баллов)

Предложена методика проведения эксперимента по определению тепловых потерь на опреснителе в помещении, выбрано правильное измерительное оборудование, а также указана последовательность действий.

Качество проведения-1 (20 баллов)

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ**
Заключительный этап
Исследовательский сектор. Испытания.
Солнечный опреснитель
ФИНАЛЬНЫЙ КОМАНДНЫЙ КЕЙС

На опреснителе в помещении проведены измерения температуры жидкости и окружающей среды, площади внешней поверхности теплоизолятора (внешних стенок) и площади поддона, а также массового расхода пресной воды. Измерения выполнены корректно и систематично.

Методика-2 (20 баллов)

Предложена корректная методика определения степени черноты пластиковой зачерненной поверхности, покрытой слоем соленой воды. Представлены расчётные уравнения, определены последовательность действий, измеряемые параметры и необходимое оборудование

Качество проведения-2 (20 баллов)

Собран экспериментальный стенд в соответствии с методикой. В опыте по нагреву некоторой массы жидкости, расположенной в зачернённом стакане определена поглощенная энергия, с помощью которой проведен расчет степени черноты пластиковой поверхности, контактирующей с жидкостью. Измерения выполнены корректно и систематично.

Обработка и представление полученных данных: 60 баллов

Графики и таблицы (30 баллов)

Полученные в результате проведения экспериментов данные систематизированы, представлены в виде таблиц или графиков. Участнику может быть поставлен неполный балл в случае, если график не соответствует рекомендациям по оформлению, принятым на физических олимпиадах и лабораторных практикумах (выбор масштаба, обозначения осей, указание точек и т.д.) и/или не все данные представлены в виде таблиц.

Оценка погрешностей (30 баллов)

При обработке данных измерений учтены/оценены погрешности (приборные, статистические) как для измеряемых величин (температуры, массы, линейные размеры), так и для расчетных (степень черноты, расход пресной воды, эффективность опреснителя). Неполный балл может быть поставлен участнику, если метод оценки погрешности дает слишком завышенный результат или применён с ошибкой.

Отчет: 40 баллов

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ**
Заключительный этап
Исследовательский сектор. Испытания.
Солнечный опреснитель
ФИНАЛЬНЫЙ КОМАНДНЫЙ КЕЙС

Отчет структурирован, последователен и аккуратно оформлен: имеются разделы, посвященные введению в проблему, цели и задачам работы, описанию методики выполнения как работы в целом, так и экспериментальной части, приведены расчетные формулы, исходные данные, а также результаты работы. В конце приводится анализ полученного результата, даются выводы о применимости метода опреснения жидкости с помощью солнечного излучения. Рисунки, таблицы и формулы пронумерованы, имеют подписи (рисунки таблицы) или расшифровку переменных (для формул). Указан состав команды и роли её участников. Неполный балл может быть поставлен участнику в случае отсутствия какого-либо из пунктов отчета (по 10 баллов за каждый из перечисленных элементов отчета в разделе 4)

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ**
Заключительный этап
Исследовательский сектор. Испытания.
Солнечный опреснитель
ФИНАЛЬНЫЙ КОМАНДНЫЙ КЕЙС

Решение

Оценка минимальной площади опреснительной системы осуществляется через выражение термической эффективности установки (1), записанной для реальных условий эксплуатации системы:

$$\eta_p = \frac{Q_{\text{исп}}}{Q_{\text{изл}}} = \frac{rm_p}{AI\tau}$$

Эффективность в реальных условиях ниже, чем в условиях лаборатории, из-за наличия ветра. Определить то, насколько снижется эффективность в реальных условиях, можно в два этапа.

При нулевой скорости ветра, т.е. в условиях лаборатории, эффективность равна отношению энергии, затраченной на производство водяных паров, к общей поступившей энергии солнечного излучения. При этом, общая поступающая энергия в стационарном режиме работы опреснителя есть сумма энергии, затрачиваемой на паропроизводство, и энергии тепловых потерь:

$$\eta_l = \frac{Q_{\text{исп}}}{Q_{\text{исп}} + Q_{\text{конв}} + Q_{\text{изл } 2\pi}} = \frac{rm_0}{rm_0 + k_l S(T_{\text{ж}} - T_{\text{л}})\tau_l + \frac{1}{2}\sigma \epsilon S_{\text{п}}(T_{\text{ж}}^4 - T_{\text{л}}^4)\tau_l}$$

В данном уравнении $T_{\text{л}}$ – температура в лаборатории, m_0 – масса пресной воды, выработанной опреснителем в лаборатории за время $\tau_{\text{л}}$. Из измерений температур жидкости и окружающего воздуха на лабораторном коллекторе по отдельности эти мощности определяются.

Увеличение скорости ветра приведет к росту коэффициента теплопередачи на величину, определяемую из рисунка 2. При наличии ветра произойдет и снижение рабочей температуры жидкости в опреснителе, что также показано на рисунке 2. Но так как интенсивность солнечного излучения постоянна во времени, увеличение тепловых потерь происходит за счет снижения генерации пресной воды. Суммарная мощность излучения, поступившая в опреснитель, не меняется. В результате, на основании поправок, учтенных

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ**
Заключительный этап
Исследовательский сектор. Испытания.
Солнечный опреснитель
ФИНАЛЬНЫЙ КОМАНДНЫЙ КЕЙС

рисунком 2, и на основании данных, полученных в опытах в лаборатории, возможно записать альтернативное выражение для термической эффективности опреснителя в реальных условиях, которое учитывает скорость ветра и новую рабочую температуру жидкости:

$$\eta_{\text{л корр}} = \frac{rm_0 - \Delta N_{\text{конв}} - \Delta N_{\text{изл}}}{rm_0 + k_{\text{л}}S(T_{\text{ж}} - T_{\text{л}})\tau_{\text{л}} + \frac{1}{2}\sigma\epsilon S_{\text{п}}(T_{\text{ж}}^4 - T_{\text{л}}^4)\tau_{\text{л}}}$$

$$= \frac{rm_0 - (n-1)k_{\text{л}}S(T_{\text{ж1}} - T_{\text{о}})\tau_{\text{л}} - \frac{1}{2}\sigma\epsilon S_{\text{п}}(T_{\text{ж1}}^4 - T_{\text{н}}^4 - T_{\text{ж}}^4 + T_{\text{л}}^4)\tau_{\text{л}}}{rm_0 + k_{\text{л}}S(T_{\text{ж}} - T_{\text{л}})\tau_{\text{л}} + \frac{1}{2}\sigma\epsilon S_{\text{п}}(T_{\text{ж}}^4 - T_{\text{л}}^4)\tau_{\text{л}}}$$

В данном уравнении $T_{\text{ж1}}$, $T_{\text{н}}$, $T_{\text{о}}$ – новая температура жидкости, определяемая по рисунку 2, температура «неба», в которое направлен опреснитель на улице и температура окружающего воздуха на улице. Фактически, два новых слагаемых в числителе учитывают изменение в паропроизводительности при увеличении тепловых потерь конвекцией за счет увеличения скорости ветра и излучением при обращении опреснителя лицом не к нагретым предметам в лаборатории, а в небо (ср. температура ок. 4 К). Коэффициент n и новая температура жидкости $T_{\text{ж1}}$ определяются по рисунку 2.

После определения скорректированного значения эффективности опреснителя, его можно приравнять к исходному выражению эффективности опреснителя, работающего в реальных условиях, и, тем самым, определить требуемую минимальную площадь поверхности опреснительной системы, генерирующей требуемую массу пресной воды $m_{\text{р}}$ в течение солнечного дня:

$$\eta_{\text{р}} = \frac{rm_{\text{р}}}{Al\tau} = \eta_{\text{л корр}} = \frac{rm_0 - (n-1)k_{\text{л}}S(T_{\text{ж1}} - T_{\text{о}})\tau_{\text{л}} - \frac{1}{2}\sigma\epsilon S_{\text{п}}(T_{\text{ж1}}^4 - T_{\text{н}}^4 - T_{\text{ж}}^4 + T_{\text{л}}^4)\tau_{\text{л}}}{rm_0 + k_{\text{л}}S(T_{\text{ж}} - T_{\text{о}})\tau_{\text{л}} + \frac{1}{2}\sigma\epsilon S_{\text{п}}(T_{\text{ж}}^4 - T_{\text{с}}^4)\tau_{\text{л}}}$$

Определение степени черноты предполагается в отдельном тесте на рабочих местах. Учащиеся изготавливают фольгированный экран для лампы накаливания и направляют сформированный луч на небольшой поддон, изготовленный из пластикового стаканчика, зачерненного снаружи. Стаканчик должен располагаться в теплоизоляторе такой же толщины,

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ**
Заключительный этап
Исследовательский сектор. Испытания.
Солнечный опреснитель
ФИНАЛЬНЫЙ КОМАНДНЫЙ КЕЙС

что и поддон опреснителя. Участники, регистрируя динамику нагрева жидкости, могут определить степень черноты из уравнения теплового баланса:

$$\frac{r^2}{4R^2} N_{\text{л}} \varepsilon \tau_{\text{н}} = c m_{\text{т}} (T_{\text{к}} - T_{\text{н}})$$

где R - расстояние от лампы до дна объема, м; r - радиус луча, м; $N_{\text{л}}$ – электрическая мощность лампы, Вт; ε - определяемая степень черноты; $\tau_{\text{н}}$ – время нагрева в тесте, проводимом участниками, с; c – удельная теплоемкость соленой воды, Дж/(кг·К); $m_{\text{т}}$ – масса соленой воды в тесте, кг; $T_{\text{к}}$ и $T_{\text{н}}$ – конечная и начальная температура жидкости в тесте.