

Министерство образования и науки Российской Федерации
Вологодский государственный университет

**МАТЕРИАЛЫ
МЕЖРЕГИОНАЛЬНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
Х ЕЖЕГОДНОЙ НАУЧНОЙ СЕССИИ
АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ**

Том II

Вологда
2016

УДК 001 (06)

ББК 72.5

М 34

Утверждено редакционно-издательским советом ВоГУ

Редакционная коллегия:

Синицын А.А., проректор по НРиИР, председатель

Казакова И.С., канд. техн. наук, доцент

Кулаков А.А., канд. техн. наук

Мезенева Е.А., канд. техн. наук, доцент

Рувинова Л.Г., д-р биол. наук, профессор

Воропай Л.М., канд. хим. наук, доцент

Белова Ю.Н., доцент, канд. биол. наук

Телина Н.В., начальник отдела НИРСиА

Прахова А.М., специалист по УМР ОНИРСиА

М 34 **Материалы межрегиональной научной конференции X Ежегодной научной сессии аспирантов и молодых ученых : в 4 т. / М-во образ. и науки РФ ; Вологод. гос. ун-т. – Вологда : ВоГУ, 2016. – Т. 2. – 404 с. : ил.**

ISBN 978–5–87851–713–3

ISBN 978–5–87851–715–7 (т. 2)

В сборнике представлены результаты научных исследований молодых ученых, аспирантов, магистрантов, студентов старших курсов вузов Вологодской области и других регионов Российской Федерации по проблемам строительства, экологии и природопользования, биологического разнообразия и его сохранения.

УДК 001 (06)

ББК 72.5

ISBN 978–5–87851–715–7 (т. 2)

ISBN 978–5–87851–713–3

© ФГБОУ ВО «Вологодский

государственный университет, 2016

Уважаемые коллеги!

Развитие молодёжной науки в настоящее время является одним из профильных векторов деятельности в научной среде. Молодёжная наука во многом определяет будущее инновационного региона.

Инновация экономики предполагает подготовку кадров по новым направлениям развития техники и технологии, экономики и управления, а также формирование специалистов, обладающих инновационными способностями, т.е. умением вырабатывать инновации самостоятельно, в процессе трудовой деятельности, находить новое в опыте других и использовать его в своей организации.

В современной ситуации востребованы люди, способные быстро адаптироваться к новым технологическим, производственным реалиям, своевременно улавливать перспективные направления научно-технического прогресса, изменения на внутреннем, региональном, мировом рынках. Сегодняшняя молодёжь – это первое поколение в новой истории, живущее в условиях не глобальной конфронтации, а интеграции мирового сообщества; поколение, располагающее улучшенным доступом к знаниям, опыту, технологиям и ресурсам.

Студенты, аспиранты, молодые учёные являются носителями мощного интеллектуального потенциала, особых способностей к творчеству. Известно, что в молодости человек легко приобретает знания, навыки и умения, наиболее расположен к творческой деятельности, максимально работоспособен. Поэтому именно с научно-исследовательской деятельностью студентов и аспирантов, прежде всего, связан прогресс современной науки, особенно естественных и технических наук.

X юбилейная ежегодная научная сессия аспирантов и молодых учёных – достойный пример качественной подготовки студентов и аспирантов, увлечённых исследованиями, поиском истины, готовых продемонстрировать результаты своего научного труда. Целью ежегодных научных сессий является активизация научно-исследовательской работы молодых учёных, аспирантов и студентов, сохранение и развитие талантов, выявление перспективных научных кадров, использование их интеллектуального потенциала для решения актуальных научных проблем, способствующих социально-экономическому развитию регионов и в первую очередь Вологодской области.

Благодаря организации и проведению различных научных мероприятий Вологодский государственный университет стал центром притяжения молодых талантов, примером поддержки и развития современной науки!

***Л.И. Соколов, ректор ВоГУ,
доктор технических наук, профессор***

Секция «АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СТРОИТЕЛЬСТВА,
БЕЗОПАСНОСТИ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ЗДАНИЙ
И СООРУЖЕНИЙ»

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДИК РАСЧЕТА ПОПЕРЕЧНОЙ
РАМЫ МАНСАРДНОГО ЭТАЖА ИЗ ХОЛОДНОГНУТЫХ
ОЦИНКОВАННЫХ ТЕРМОПРОФИЛЕЙ

Е.И. Белкина

*Научный руководитель И.С. Казакова, канд. техн. наук, доцент
Вологодский государственный университет
г. Вологда*

Самым простым и эффективным техническим решением при реконструкции зданий является надстройка мансардных этажей. Главным преимуществом мансардных этажей является возможность в короткие сроки и с минимальными затратами увеличить плотности заселения в сформировавшейся городской застройке.

В качестве строительных материалов для несущих конструкций мансарды могут быть использованы дерево, металлы, сборный и монолитный бетон, а также комбинации указанных материалов. Но в последние годы повысился интерес к надстройке мансард именно благодаря внедрению экономичной и практичной технологии строительства на основе легких стальных тонкостенных конструкций, собранных из холодногнутого оцинкованного термопрофиля.

Основной проблемой для применения данной технологии на территории Российской Федерации является отсутствие действующих норм проектирования. В России существуют государственные нормативы (СНиП, СП) только для металлоконструкций толщиной от 4 мм. В Европе конструкции такого типа регламентируются нормами **DIN** и Еврокодами. [1]

Одним из вариантов решения проблемы является создание **СП** на основе **Еврокода** EN-1993-1-3 «Стальные конструкции. Общие правила: Дополнительные правила для холодноформованных тонкостенных элементов и профилированного листа». [2] Такую инициативу выдвинул Российский союз поставщиков металлопродукции, и в 2006 году был издан проект свода правил «Конструкции стальные тонкостенные из холодногнутого оцинкованных профилей и гофрированных листов. Правила проектирования» [3], который до сих пор не введен в действие.

В данной работе производится сравнительный анализ методик расчета поперечной рамы мансардного этажа из холодногнутого оцинкованного термопрофиля согласно Еврокоду и проекту СП. Целью анализа является определение основных положений расчета, выявление их сходств и различий. Для этого были произведены расчеты конструкций рамы согласно обеих методик.

Был запроектирован каркас мансардного этажа из поперечных рам, выполненных из тонкостенных термопрофилей. Пролет рамы - 12,6 м, высота - 3,55 м, шаг рам – 0,6 м.

Роль несущих конструкций рамы выполняют стоечные термопрофили ТС с сечением высотой 200 мм для элементов покрытия и высотой 150 мм для стоек (были рассмотрены три варианта профилей – толщиной 1; 1,5 и 2 мм

Конструкции были рассчитаны на действие постоянной, снеговой и ветровой нагрузок. Район строительства – город Вологда: IV снеговой район, I ветровой район. Геометрическая схема рамы представлена на рисунке 1.

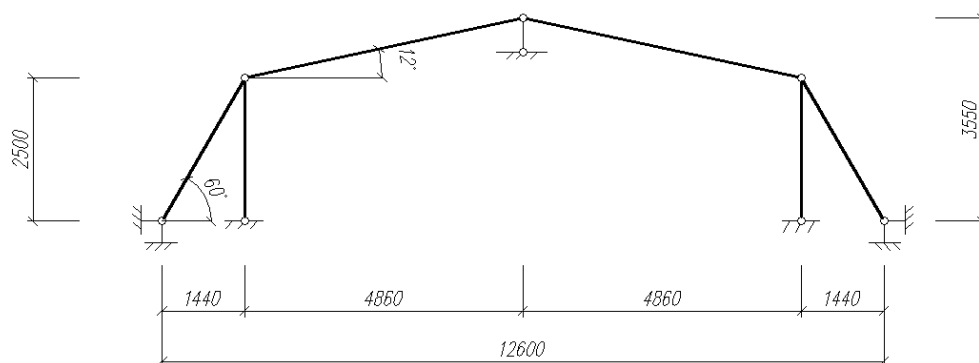


Рис. 1. Геометрическая схема поперечной рамы

Применение тонких холодноформованных изделий порождает ряд проблем расчетного характера, с которыми обычно не сталкиваются при использовании обычных горячекатаных профилей. К ним относятся: неоднородное распределение свойств материала в связи с холодной обработкой, закругленные углы и расчёт геометрических характеристик, местная устойчивость, дисторсионная форма потери устойчивости (сворачивание), крутильная и изгибно-крутильная формы потери устойчивости, сдвиговое запаздывание, скручивание полки, смятие, коробление и выпучивание стенки. Эти эффекты необходимо учитывать при расчетах.

Согласно обеим методикам первоначальным шагом в расчетах является определение геометрических характеристик эффективного (Еврокод) или редуцированного (СП) сечения. Это расчетное сечение, определяемое с учетом потери местной устойчивости.

Рассматривая потерю местной устойчивости стального тонкостенного профиля, профили представляют как совокупность длинных пластин, жестко соединенных в местах изгиба. Принимают, что гибкость пластин достаточно большая, и местная потеря устойчивости происходит в упругой стадии. Поэтому площадь профиля может быть уменьшена в окончательных расчетах на значение, которому соответствуют участки пластинчатых элементов, потерявшие контур при местной потере устойчивости. Концепция эффективной ширины и эффективное сечение термопрофиля показаны на рисунке 2.

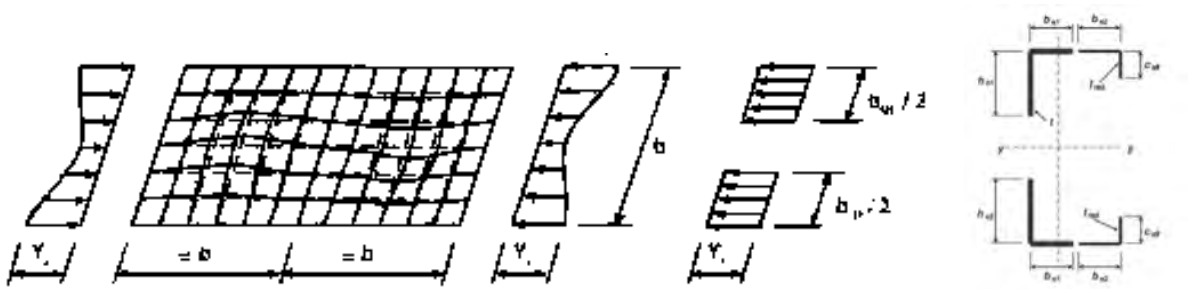


Рис. 2. Концепция эффективной ширины и эффективное сечение

Редуцируют следующие характеристики: размеры и площадь поперечного сечения (b_{red} , t_{red} , A_{red}), момент сопротивления (W_{red}) и момент инерции (I_{red}). Методики определения эффективных сечений по Еврокоду и проекту СП аналогичны.

Далее производятся проверки несущей способности с учетом редуцированных характеристик по первому и второму предельным состояниям.

Проверка несущей способности по первому предельному состоянию на прочность при совместном действии сжатия и изгиба согласно Еврокода производится по следующим формулам:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd}} + \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd}} \leq 1, \quad (1)$$

$$\frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd}} + \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd}} - \frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1, \quad (2)$$

Проверка на устойчивость:

$$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}}\right)^{0,8} + \left(\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}}\right)^{0,8} \leq 1, \quad (3)$$

где N_{Ed} – действующая осевая сила;

M_{Ed} – действующий изгибающий момент;

$N_{c,Rd}$ – расчетная несущая способность поперечного сечения по прочности при осевом сжатии;

$M_{c,Rd}$ – расчетная несущая способность поперечного сечения по прочности при изгибе относительно одной из главных осей;

$M_{y,Ed}$ – изгибающий момент относительно оси у-у;

$M_{z,Ed}$ – изгибающий момент относительно оси z-z;

$M_{cy,Rd}$ – расчетная несущая способность поперечного сечения по прочности при изгибе относительно оси у-у;

$M_{cz,Rd}$ – расчетная несущая способность поперечного сечения по прочности при изгибе относительно оси z-z;

$N_{b,Rd}$ – минимальная несущая способность по устойчивости при сжатии;

$M_{b,Rd}$ – несущая способность по потере устойчивости плоской формы изгиба.

Согласно проекту СП проверка на прочность состоит в выполнении условия:

$$\sigma_0 = \left(\frac{N}{A} + \frac{M_x}{I_x} \cdot y_0 + \frac{M_y}{I_y} \cdot x_0 + \frac{B_{\omega}}{I_{\omega}} \right) \cdot \left(I - \frac{A_0}{A} - \frac{I_{x,0}}{I_x} - \frac{I_{y,0}}{I_y} - \frac{I_{\omega,0}}{I_{\omega}} \right)^{-1}, \quad (4)$$

$$\frac{N-N_0}{A \cdot R_y \cdot \gamma_c} + \frac{M_x+N_0 \cdot y_0}{I_x \cdot R_y \cdot \gamma_c} \cdot y + \frac{M_y+N_0 \cdot x_0}{I_y \cdot R_y \cdot \gamma_c} \cdot x + \frac{B_{\omega}+N_0 \cdot \omega_0}{I_{\omega} \cdot R_y \cdot \gamma_c} \cdot \omega \leq 1,0, \quad (5)$$

На устойчивость:

$$\frac{N}{A_{eff} \cdot \varphi_e \cdot R_y \cdot \gamma_c} \leq 1; \quad (6)$$

$$\frac{M_x}{W_{cx,eff} \cdot \varphi_b \cdot R_y \cdot \gamma_c} \leq 1; \quad (7)$$

где $N_0 = \sigma_0 \cdot A_0$; $M_x = N_0 \cdot y_0$; $M_y = N_0 \cdot x_0$; $B_{\omega} = N_0 \cdot \omega_0$ - дополнительные напряжения и усилия в сечении от изменения формы сечения за счет редукации сечения;

A_{eff} , $W_{cx,eff}$ - геометрические характеристики эффективного сечения;

φ_e , φ_b - коэффициенты устойчивости;

σ_0 - сжимающее напряжение в зоне потери местной устойчивости;

I_{ω} - секториальный момент инерции полного сечения;

$I_{x,0}$, $I_{y,0}$ - моменты инерции части сечения, потерявшего местную устойчивость относительно центра тяжести эффективного сечения;

y_0 , x_0 - координаты части сечения, потерявшего местную устойчивость относительно центра тяжести эффективного сечения.

Помимо обеспечения достаточной несущей способности по первому предельному состоянию элемента, он должен соответствовать критериям пригодности к нормальной эксплуатации. То есть прогибы и перемещения элементов при действующих нагрузках не должны превышать предельных значений. Эти расчеты производятся с учетом эффективных характеристик по обеим методикам.

Проверка несущей способности по второму предельному состоянию по Еврокоду состоит в выполнении неравенства:

$$\delta < \delta_{limit}, \quad (5)$$

где δ , δ_{limit} - фактическое и предельное значение прогиба соответственно.

Аналогично по СП:

$$f \leq [f], \quad (6)$$

где f и $[f]$ - фактическое и предельное значение прогиба соответственно.

В результате расчетов были получены аналогичные результаты согласно обеих методик, несмотря на расхождения в расчетных формулах. Были подобраны стоечные термопрофили толщиной 1,5 мм.

1. ЛСТК [Электронный ресурс] // Материал из Википедии — свободной энциклопедии. — Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/ЛСТК>. — Дата доступа: 14.03.2016.

2. Гарднер, Л. Руководство для проектировщиков к Еврокоду 3: Проектирование стальных конструкций EN 1993-1-1, 1993-1-3, EN 1993-1-8: пер. с англ. / Л. Гарднер, Д.А. Нетеркот; ред. серии Х. Гульванесян; М-во образования и науки Росс. Федерации, ФГБОУ ВПО «Моск. гос. строит. ун-т»; науч. ред. пер. А.И. Данилов. Москва : МГСУ, 2012. – 224 с. (Серия «Издано в МГСУ: Еврокоды». Науч. ред. серии В.О. Алмазов).

3. Проект СП Конструкции стальные тонкостенные из холодногнутых оцинкованных про-филей и гофрированных листов. Правила проектирования. – Минстрой России, М., 2014.

РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ ОДНОЩЕЛЕВОГО ФУНДАМЕНТА НА СТАДИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПО КРИТЕРИЮ ПРОЧНОСТИ ГРУНТА ОСНОВАНИЯ

О.Л. Борисова

Научный руководитель В.С. Уткин, д-р техн. наук, профессор

Вологодский государственный университет

г. Вологда

С 2010 года действует Закон Российской Федерации №384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», в котором устанавливаются требования механической безопасности несущих конструкций, в том числе фундаментов. Межгосударственный стандарт ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований» рекомендует в качестве меры безопасности использовать вероятность безотказной работы несущих элементов и зданий в целом. По этим документам требования безопасности зданий и сооружений должны быть обоснованы расчетами. Поэтому в данной статье предлагается рассмотреть проблему оценки надежности индивидуального однощелевого фундамента здания на стадии эксплуатации.

В современном строительстве применяются различные типы фундаментов, имеющие как преимущества, так и недостатки. К примеру, недостатками фундаментов на естественном основании являются трудоемкость их возведения, передачу нагрузки на основание только через подошву фундамента (что приводит к перерасходу арматуры, бетона). После некоторых исследований в 80-х годах прошлого столетия была предложена идея применения метода «стена в грунте» для возведения фундаментов мелкого заложения, после чего возникло понятие «щелевые фундаменты».

Щелевые фундаменты (рис. 1) представляют собой столбчатые опоры, устраиваемые способом "стена в грунте". Такие фундаменты представляют наиболее рациональный вид опор для сооружений, передающих значительные

концентрированные нагрузки на основание, а также эффективны в сложных геологических условиях, при высоком уровне грунтовых вод, в стесненных условиях. Несущая способность щелевого фундамента складывается из несущей способности по его подошве и по его боковой поверхности. Применение такого типа фундаментов позволяет сократить сроки, трудоемкость и стоимость строительства.

Наибольшее развитие получила теория расчетов надежности, построенная на вероятностно-статистических методах [1-2]. На эти методы направлены и рекомендации стандарта ГОСТ 27751-2014 при наличии полной статистической информации о случайных величинах. Для расчетов надежности индивидуальных строительных объектов или их элементов, как правило, получить полную статистическую информацию не удастся. В связи с этим в последнее время появился ряд работ по анализу случайных событий для ситуаций с ограниченной статистической информацией [3]. В [4] приведен расчет надежности типового фундамента по всем критериям его работоспособности в условиях эксплуатации и ограниченной статистической информации о контролируемых параметрах. Рассмотрим метод расчета надежности однощелевого фундамента применительно к ограниченной статистической информации о параметрах в расчетной модели на основе теории возможностей.

Щелевые фундаменты (рис. 2) по несущей способности грунта основания рассчитываются по формуле [5]:

$$N \leq F, \quad (1)$$

где N – нагрузка, передаваемая на фундамент от вышележащих конструкций; на стадии обследования фундамента значение N определяется различными методами, в том числе методом, описанным в патенте на изобретение [6] и является случайной величиной; F – несущая способность грунта основания фундамента. Предположим, что фундамент расположен в однородном грунте с постоянной плотностью, тогда по [5]:

$$F = \sigma \cdot A + U \cdot f \cdot h, \quad (2)$$

где: σ – реактивное давление грунта под подошвой фундамента; A – площадь подошвы фундамента; U – сумма площадей высот боковых поверхностей фундамента длиной 1м; f – удельная сила сопротивления по боковым поверхностям фундамента; нами ведутся работы по разработке

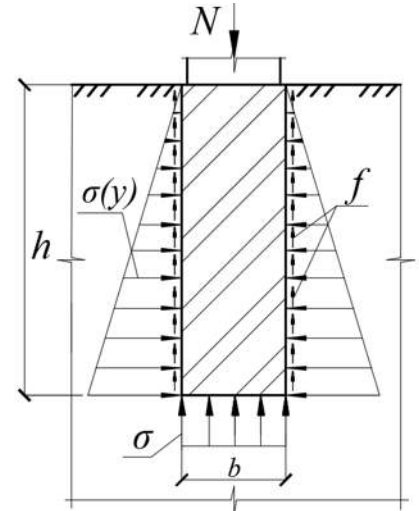


Рис. 1. Схема одно- и двухщелевого фундаментов

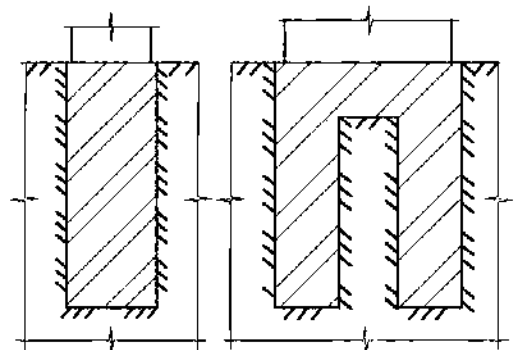


Рис. 2. К расчету надежности однощелевого фундамента

устройства для определения удельного сопротивления по боковой поверхности фундамента и грунта с учетом реальной неровности поверхности фундамента, h – толщина грунта по боковой поверхности щелевого фундамента.

Из формулы (2) видно, что нагрузка, передаваемая щелевым фундаментом на основание, делится на две части: первая часть передается через подошву фундамента, а вторая – через его боковую поверхность. Из (1) и (2) получим для расчета надежности фундамента математическую расчетную модель предельного состояния с учетом изменчивости контролируемых параметров (отмечено волнистой линией над буквами):

$$\tilde{N} \leq \tilde{F} = \tilde{\sigma} \cdot A + U \cdot \tilde{f} \cdot h \quad (3)$$

где A, U, h приняты детерминированными величинами в силу их малой изменчивости при измерениях. Информация о $\tilde{\sigma}$ и $\tilde{f}$ ограниченная для индивидуального фундамента на стадии эксплуатации, поэтому расчет проводим на основе теории возможностей [7]. В соответствии с [7] $\tilde{N}$ и $\tilde{F}$ – нечеткие переменные, характеризующиеся функцией распределения возможностей. Наибольшее использование [8] для их описания получила функция распределения возможностей нечеткой переменной X вида:

$$\pi_x(x) = \exp\left[-((x - a_x)/b_x)^2\right], \quad (4)$$

где x – значение (неизвестное) нечеткой переменной; $a_x = 0,5 \cdot (X_{\max} + X_{\min})$;

$b_x = 0,5 \cdot (X_{\max} - X_{\min}) / \sqrt{-\ln \alpha}$; $\alpha \in [0; 1]$. Значением α (уровнем среза) задаются по [9].

Для левой части неравенства расчетной модели (3) используем правило сложения функций распределения возможностей [8] при одинаковых значениях уровня среза α . Обозначим $\tilde{\sigma} \cdot A = X$, $U \cdot \tilde{f} \cdot h = Y$ и $\tilde{N} = Z$. Тогда (3) примет вид:

$$Z \leq \Phi = X + Y \quad (5)$$

По правилу [8] сложения функций $\pi_x(x)$ и $\pi_y(y)$ нечетких переменных от нечетких аргументов X и Y найдем условное «среднее» $a_\phi = a_x + a_y$ и рассеяние $b_\phi = b_x + b_y$ при одном и том же значении α . На рис. 3 показаны функции $\pi_z(z)$ и $\pi_\phi(\phi) = \pi_x(x) + \pi_y(y)$. При $a_\phi \geq a_z$ имеем возможность безотказной работы фундамента $R = 1$. На рис. 4 показаны значения возможности

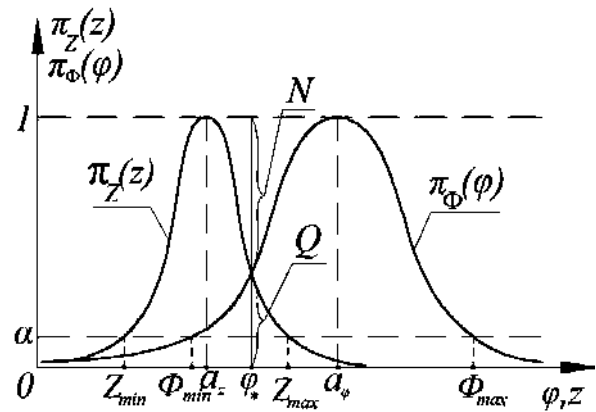


Рис. 3. Функции распределения возможностей $\pi_\phi(\phi)$ и $\pi_z(z)$

отказа Q и необходимости безотказной работы N при $a_\varphi \geq a_z$ и абсцисса φ^* – точка пересечения функций $\pi_\varphi(\varphi)$ и $\pi_z(z)$.

Значение φ^* находят из $\pi_z(z) = \pi_\varphi(\varphi)$ или $|(\varphi^* - a_z)/b_z| = |(\varphi^* - a_\varphi)/b_\varphi|$.

Из корней этого уравнения выбирают значение φ^* , удовлетворяющее условию $a_\varphi \geq \varphi^* \geq a_z$. Подставляя значение φ^* в $\pi_z(z)$ или $\pi_\varphi(\varphi)$ находят значение $Q = \pi_\varphi(\varphi^*)$ при $a_\varphi \geq a_z$, а также $N = 1 - Q$.

Рассмотрим пример. Пусть условно известны (см. рис. 2): $h = 3\text{ м}$;
 $\alpha = 0,1$; $\tilde{N} \in \{0,56; 0,6; 0,64\} \text{ МН}$; $\tilde{\sigma} \in \{0,7; 0,75; 0,8\} \text{ МН} / \text{ м}^2$;
 $\tilde{f} \in \{0,03; 0,035; 0,04\} \text{ МН} / \text{ м}^2$; $b = 0,4\text{ м}$; $l = 1\text{ м}$.

По исходным данным получим: $a_x = 0,27 \text{ МН}$; $b_x = 0,0119 \text{ МН}$;
 $a_y = 0,504 \text{ МН}$; $b_y = 0,0474 \text{ МН}$; $a_z = 0,774 \text{ МН}$; $b_z = 0,06 \text{ МН}$; $a_\varphi = 0,6 \text{ МН}$;
 $b_\varphi = 0,0264 \text{ МН}$; так как $a_z = 0,6 < a_\varphi = 0,774$, то $R = 1$. Из
 $|(\varphi^* - 0,774)/0,06| = |(\varphi^* - 0,6)/0,0264|$ найдем $\varphi^* = 0,647 \text{ МН}$.

$Q = e^{-(0,647-0,774)/0,06)^2} = e^{-4,48} = 0,01133$, $N = 1 - Q = 0,98867$.

Надежность фундамента по критерию прочности грунта характеризуется интервалом $[0,98867; 1]$. Истинное значение вероятности безотказной работы находится внутри этого интервала.

Выводы:

1. Предложен новый метод расчета надежности индивидуального одноцелевого фундамента здания на стадии эксплуатации.
2. Приведены числовые примеры расчета надежности в качестве алгоритма расчета надежности.
3. Предложенный метод расчета надежности может быть использован для расчета надежности многоцелевого фундамента, показанного на рис. 1.

1. Аугусти, Г. и др. Вероятностные методы в строительном проектировании / Г. Аугусти, А. Баратта, Ф. Кашиати, пер. с англ. Ю.Д. Сухова. – М.: Стройиздат, 1988. – 584 с.

2. Шпете, Г. Надежность несущих строительных конструкций / Г. Шпете; пер. с нем. О. Андреева. – М.: Стройиздат, 1994. – 288 с.

3. Уткин, В.С. Расчет надежности оснований и фундаментов при различной информации. LAG LAMDERT Academic Publishing. – Германия, 2014. – 100 с.

4. Уткин, В.С. Расчет надежности ленточного фундамента под продольной стеной здания на стадии эксплуатации / В.С. Уткин, О.Л. Борисова // Строительная механика и расчет сооружений. – №5. – 2016. – С. 50-58.

5. Павлов, В.В. Щелевые фундаменты зданий / В.В. Павлов, Л.А. Аверьянова, Б.Г. Алексеев и др. – Стройиздат, Красноярский отдел, 1992. – 141с.

6. Пат. 2582495 Российская Федерация. Способ измерения и мониторинга давления на бетонные и кирпичные несущие стены и фундаменты зданий и сооружений на заданном уровне на стадии эксплуатации. Авторы: В.С. Уткин, Н.В. Горева, Д.А. Тропина; заявитель и патентообладатель Волог. гос. ун-т. – 2016.

7. Дюбуа, Д. Теория возможностей. Приложения к представлению знаний в информатике / Д. Дюбуа, А. Прад. – М.: Радио и связь, 1990. – 288 с.

8. Уткин, В.С. Определение надежности строительных конструкций: Учебное пособие. – 2-е изд., перераб. / В.С. Уткин, Л.В. Уткин. – Вологда: ВоГТУ, 2000. – 175 с.

9. Уткин, В.С. Значение уровня среза (риска) при расчете надежности несущих элементов возможным методом / В.С. Уткин, С.А. Соловьев, А.А. Каберова // Строительная механика и расчет сооружений. – 2015. – №6. – С. 63-67.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ОГНЕСТОЙКОСТИ ПЛИТ «VELOX»

А.И. Васильева

*Научный руководитель **И.С. Казакова**, канд. техн. наук, доцент
Вологодский государственный университет
г. Вологда*

Технология VELOX была разработана в 1967 году австрийской фирмой для ускоренного возведения утепленного жилья и успешно применяется в России. На территории России производит продукцию с 2003 промышленная группа ROSSTRO-VELOX, расположенная на территории г. Кингисеппа Ленинградской области [1]. Второй завод в России, производящий опалубку по технологии VELOX, – АО «БелВелокс».

В России в настоящее время отсутствует ГОСТ на качество плит VELOX. Производителями VELOX разработаны свои собственные стандарты на выпускаемую продукцию ТУ 5537-001-23076514-2003 "Плиты щепоцементные "ROSSTRO-VELOX""[3], в связи с чем требуется проведение испытаний материала с целью подтверждения его характеристик.

Строительная система VELOX представляет технологию монолитного строительства, где стены и перекрытия бетонируются в опалубке, изготовлен-

ной из щепоцементных плит, которая после бетонирования остается, является частью конструкции стены или перекрытия (рис.) и выполняет роль утеплителя. На долю этого утеплителя приходится 12 % сопротивления теплопередаче от общего сопротивления теплопередаче конструкции стены VELOX.

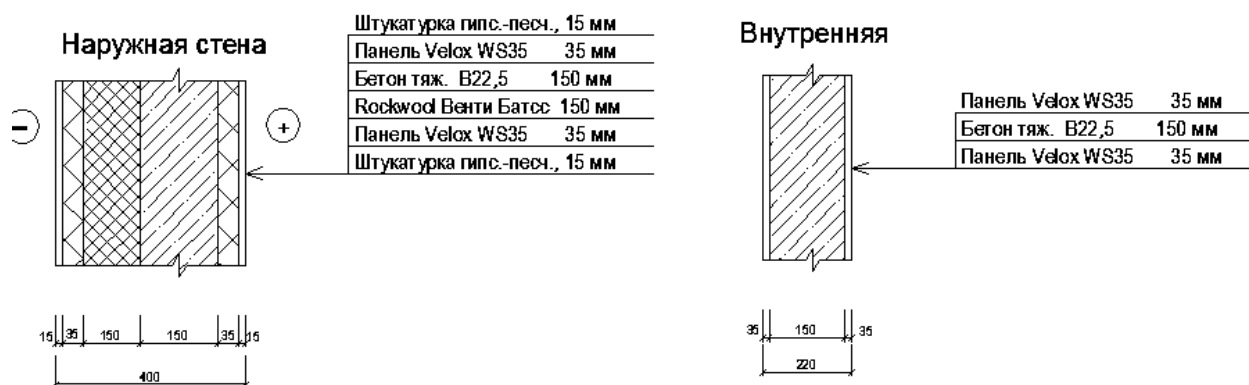


Рис. Конструкция наружной и внутренней стены.

Целью данной работы является исследование влияния водопоглощения на теплопроводность плит VELOX.

Плиты VELOX на 95% состоят из древесины, поэтому они впитывают влагу. Был поставлен эксперимент по оценке максимального намокания материала.

Методика водопоглощения образцов по массе определялась по ГОСТ Р ЕН 12087-2008 "Изделия теплоизоляционные, применяемые в строительстве. Методы определения водопоглощения при длительном погружении". Для испытания было принято 5 контрольных образцов размером 150x150x10 мм.

Водопоглощение по массе определялось как разность веса образцов материала в насыщенном водой и сухом состояниях в процентах от веса сухого материала по формуле:

$$W_m = \frac{(m_g - m_c)}{m_c} \cdot 100\%,$$

$$W_m = 30\%$$

где m_g – масса образца, насыщенного водой;

m_c – масса образца высушенного до постоянной массы.

Экспериментально было установлено водопоглощение плит при полном погружении в воду на 24 часа. Оно составило 30%.

Теплопроводность насыщенных водой и высушенных до постоянной массы образцов материала VELOX определяется по ГОСТ 7076-99 "Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме" при помощи прибора ИТС-1. Значение коэффициента теплопроводности образца VELOX в сухом состоянии при температуре $20 \pm 5^\circ\text{C}$ составляет $0,15 \text{ Вт/м}^\circ\text{C}$. При расчет-

ном водопоглощении 30% коэффициент теплопроводности материала VELOX составляет $0,261 \text{ Вт/м}^0\text{С}$.

Требуемое сопротивление теплопередаче для Вологодской области $R^{\text{треб}}_0 = 3,98 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С/Вт}$ [2].

Определим приведенное сопротивление теплопередаче R_0 стены, при условии намокания плит VELOX на 30 %, в соответствии с п. 9.1 [2] по формуле: $R_0 = 1/\alpha_{\text{в}} + R_{\text{к}} + 1/\alpha_{\text{н}}$, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С/Вт}$, которое составляет $R_0 = 4,25 \text{ Вт/м}^0\text{С}$.

Таким образом, при намокании материала щепоцементной плиты VELOX на 30%, сопротивление теплопередаче конструкции соответствует требованиям.

Эксперимента по максимальному намоканию материала недостаточно, поэтому в настоящее время разработана методика проведения эксперимента для установления зависимости водопоглощения от теплопроводности материала VELOX. Водопоглощение материала и соответствующее им сопротивление теплопроводности будет замеряться через 2, 4, 6, 8, 12, 24, 36, 48 часов.

По полученным значениям водопоглощения и значениям коэффициента теплопроводности будут рассчитываться значения приращения теплопроводности на 1% водопоглощения материала по формуле:

$$\Delta\lambda = \frac{(\lambda_w - \lambda_0)}{w},$$

λ_w - теплопроводность образца после водонасыщения;

λ_0 - теплопроводность образца до водонасыщения;

w - влагопоглощение образца.

Другой важной характеристикой кроме теплоизоляционных свойств ограждающих конструкций является пожаробезопасность.

В 2007 году Академией госпожслужбы МЧС в г. Москве были проведены испытания на огнестойкость плиты VELOX российского производства (рис.1). Пожарные испытания показали повышенные противопожарные характеристики: щепоцементные плиты VELOX являются слабогорючим (Г1), трудновоспламеняемым (В1) строительным материалом малой дымообразующей способностью (Д1).

Наружные стены толщиной 320 мм с эффективным утеплителем пенополистиролом, внутренние стены толщиной 220мм и ребристое монолитное перекрытие VELOX толщиной 270мм выдерживает воздействие 900-градусной температуры более двух часов, при этом они не меняют своих конструктивных и несущих способностей. Предел огнестойкости конструкции внутренних и наружных стен REI 150, перекрытий REI 60. Класс пожарной опасности стен K0.

1. Технология строительства Velox [Электронный ресурс удаленного доступа] – Режим доступа:– <http://www.rosstro-velox.ru/> Дата доступа: 15.04.2015.

2. СП 50.13330.2012. Свод правил. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003.: утв. приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 30 июня 2012 г. N 265 и введен в действие с 1 июля 2013.- М.: ФГУП, 2012.- 82с.

3. Технические условия. ТУ 5537-001-23076514-2003 Плиты щепоцементные ROSSTRO-VELOX: С-Пб., 2003г.

ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ ВЕТРОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ВЫСОТНЫЕ ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

А.В. Груздева

Научный руководитель Н.М. Дементьев, канд. техн. наук, доцент

Вологодский государственный университет

г. Вологда

На сегодняшний день высотное строительство пользуется большой популярностью. По причине нехватки земли в крупных городах и мегаполисах застройщики отдают предпочтение высотным сооружениям. Также играет большую роль и экономическая сторона вопроса: из-за роста цен на землю, стали строить высотные здания.

Во время строительства и эксплуатации на высотное здание действуют множество различных нагрузок, в том числе и ветровые. При строительстве здания в высоту, увеличивается площадь, на которую действует ветер и здание стремиться к отрыву от земли. Поэтому одной из важных проблем является расчет и моделирование действия ветровой нагрузки. Исходя из вышесказанного, перед проектировщиком встают следующие задачи:

- необходимость расчета действия ветровой нагрузки на высотные здания сложной формы, вычисление которого по методикам СНиП не всегда возможно, ввиду ограничения предлагаемых нормативными документами схем;
- совершение многоразовых испытаний и нахождение оптимальных конструкций объекта, не изготавливая его пробных экземпляров;
- получение разных характеристик объекта в числовом или графическом виде.

Ветровое воздействие является одним из основных временных воздействий на здание. Давление ветра в средней части России на высоте до 10 м принимается равным 270 Па, а уже на высоте 100 м принимается равной 570 Па. С подветренной стороны здания возникает отсос (отрицательное давление), который еще больше увеличивает влияние ветровой нагрузки. На рисунке изображена схема распространения ветра на высотное здание прямоугольной формы.

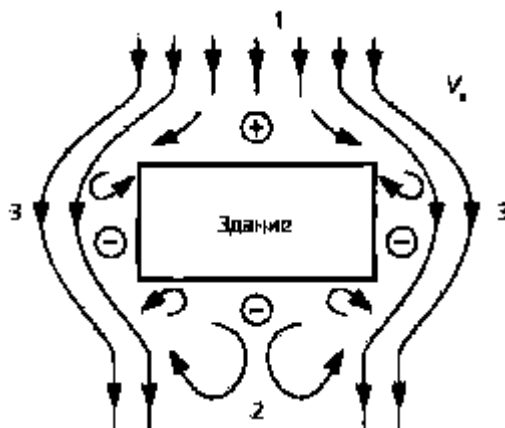


Рис. Схема распространения ветра

При проектировании зданий и сооружений важной характеристикой является не только сила, действующая на здание целиком, но и распределение давления вокруг здания. Последнее позволяет рассчитать опрокидывающий момент, а также инфильтрацию воздуха через ограждающие конструкции здания.

Задаче расчёта ветровых воздействий на здание на стадии эксплуатации необходимо уделять должное внимание, поскольку от ее решения напрямую зависит безопасность и стоимость высотных строительных комплексов. При заниженном значении ветровой нагрузки строительные конструкции обладают недостаточной прочностью, а при завышенном – происходит удорожание строительства. Следует отметить многообразие форм, которые могут иметь различные здания и сооружения. Традиционно данная задача решается с использованием аэродинамических формул, изложенных в СП “Нагрузки и воздействия”. Однако расчет ветровых нагрузок с помощью аэродинамических формул СП является неточным. Кроме того, в нём даны формулы для ограниченного числа форм зданий и сооружений, и отсутствуют формулы для расчета зданий в застройках.

Также для определения влияния и распространения ветровой нагрузки на здания и сооружения, проектировщики используют специальную аэродинамическую трубу для продува в ней модели здания в масштабе от 1:150 до 1:500. Это позволяет определять градостроительно-планировочные недостатки, чрезмерные нагрузки на конструкции, возможные места возникновения вибраций и шумов, давление на здание, как влияет окружающая застройка, шум от ветра и другие параметры. Полученные результаты переносятся на реальный объект с корректирующими коэффициентами точности. Однако применение этой методики не всегда возможно для многих проектировщиков ввиду высокой стоимости и малой доступности оборудования.

При компьютерном моделировании учитываются скорость, характер и направление ветра, рельеф местности, плотность окружающей застройки, на-

личие близости леса и объемно-пространственная структура самого здания. Как правило, чем больше объектов находится рядом, тем больше высота, на которой достигается максимальная ветровая нагрузка. В области пограничного слоя воздуха скорость ветра может увеличиться в четыре раза. Под пограничным слоем понимается приземной слой атмосферы (в центре городов ~ 460 м), в котором поверхность земли оказывает тормозящее воздействие на движущую массу воздуха, выше его скорость ветра постоянна. Нагрузки, вызванные воздушными потоками повышенной скорости вокруг здания (турбулентные, круговые восходящие, всасывающие), создают колебания, сравнимые с 4- и даже 5-балльным землетрясением [1].

Кроме этого, возникают неприятные звуки от перекоса конструкций, от проникания ветровых потоков в оконные щели, а также «завывания» вокруг здания. Наибольшее давление ветра наблюдается в центре вертикальной поверхности с наветренной стороны, где движение ветра практически прекращается. Давление постепенно уменьшается по мере возрастания скорости потока в направлении верха здания. Примерно с середины высоты 40% потоков воздуха начинает движение вниз вдоль фасада. Это может создавать ветровые нагрузки на уровне входа в здание даже большие, чем на высоте 100 м [1].

Отметим, как уже было сказано выше, что вышеперечисленные стандартные инженерные методики основаны на упрощённых зависимостях распространения струйных течений и не могут отражать реальной оценки влияний ветровых воздействий на высотные здания и сооружения.

Компьютерное моделирование является одним из эффективных методов изучения сложных систем [2]. Компьютерные модели проще и удобнее исследовать в силу их возможности проводить вычислительные эксперименты, в тех случаях, когда реальные эксперименты затруднены из-за финансовых или физических препятствий, или могут дать непредсказуемый результат [2].

1. Проектирование высотных зданий-специфика [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: <http://delovoy-kvartal.ru/>

2. Компьютерное моделирование [Электронный ресурс]: сайт.- Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/>

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОТИВОПОЖАРНЫХ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ РАЗЛИЧНОГО ТИПА ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

Л.О. Дрозд

Научный руководитель Ш.Э. Булгаков, канд. техн. наук, доцент

Вологодский государственный университет

г. Вологда

В течение последних 10 лет в России возросли продажи лакокрасочных огнезащитных покрытий для металлоконструкций. Рост популярности данных покрытий обусловлен их способностью обеспечивать экономически выгодную защиту конструкций от огня, одновременно обеспечивая привлекательный внешний вид металлоконструкций. Огнезащитные краски созданы для сохранения человеческих жизней и уменьшению разрушений строительных конструкций.

Технологии огнеупорных покрытий известны уже много лет, сейчас они стремительно развиваются, следуя спросом рынка. В настоящее время существуют множество разных видов огнезащитных красок с различными характеристиками и ценами. В данной статье мы выполним обзор типов лакокрасочных огнезащитных покрытий и выберем наиболее выгодную по свойствам и стоимости.

Исследуем, какие противопожарные лакокрасочные покрытия применяются при защите строительных металлических конструкций. Огнезащитные лакокрасочные покрытия подразделяются на две группы: не вспучивающиеся и вспучивающиеся. Невспучивающиеся краски при нагревании остаются прежними в своей толщине слоя. Вспучивающиеся краски при нагревании увеличивают толщину слоя в 10-40 раз. Обычно вспучивающиеся краски более эффективны, так как при нагревании происходит образование вспененного слоя в виде расплава негорючих веществ. В результате выделяющихся при тепловом воздействии газообразных и парообразных веществ получается вспененный слой, который обладает высокими теплоизоляционными свойствами. Образующийся пористый слой обугливается, покрытие является теплоизоляционным слоем между источником тепла и защищаемой поверхностью. Объем образовавшегося обугленного слоя, в зависимости от состава, может составлять от 5 до 200 первоначальных объемов покрытия [1].

Составляющие противопожарных лакокрасочных покрытий:

- 1) красящий пигмент – придание цвета;
- 2) наполнитель (тальк, каолиновая вата, распушенный асбест, вермикулит) – увеличение объёма и придание негорючих качеств;

3) связующее вещество (жидкое калиевое стекло) – образование равномерной плёнки при затвердевании.

В исследовательской работе были рассмотрены огнезащитные краски, их характеристики и цена, представленные в таблице.

Таблица

Сравнительные характеристики огнезащитных покрытий

Название краски	Основа (растворитель)	Предел огнестойкости МК, мин	Срок эксплуатации, год	Расход краски для 90 мин	Толщина покрытия, мм	Цена за 1 кг, руб
NEOMID	водная	45,60,90	25	2,8	2	220
Неофлэйм513	водная	45,60,90	25	3,13	1,74	275
Феникс	органическая	45,60,90,120	30	2,1	1,3	420
Джокер 521	водная	45,60,90	15	1,75	1,7	360
ВУП-ЗР	органическая	45,60,90	30	3,2	1,98	290
Огнелат	водная	45,60,90	10	3,3	2,2	185
Термобарьер	органическая	45,60,90,120	20	2,15	3,2	290
Айсберг	водная	45,60,90,120	30	2,28	1,5	530

На основе данных таблицы была построена диаграмма, показывающая зависимость расхода краски от предела огнестойкости строительных металлических конструкций, представленная на рисунке 1.

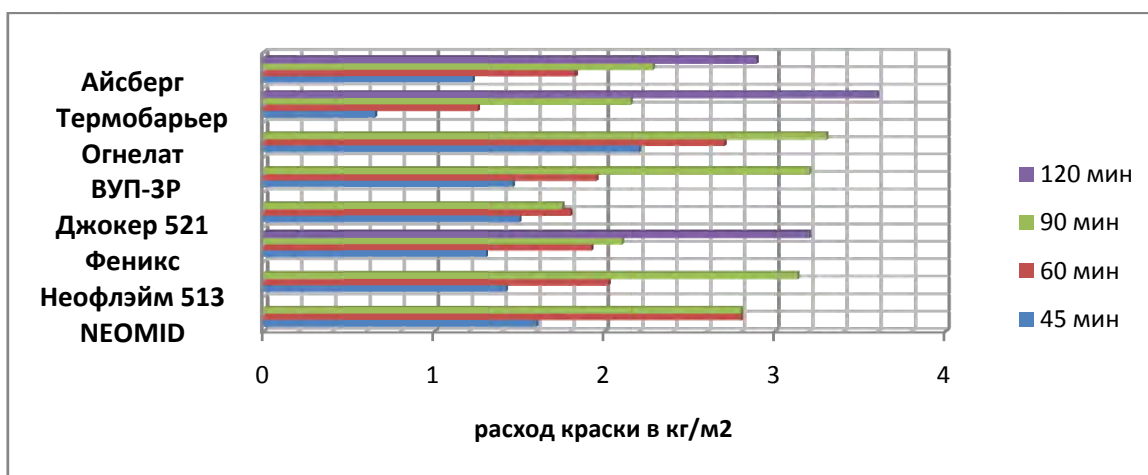


Рис. 1. Зависимость расхода краски от предела огнестойкости строительных металлических конструкций

Из построенной диаграммы можно сделать вывод, что наиболее эффективно по расходу краски огнезащитное лакокрасочное покрытие "Термобарьер". Оно предназначено для повышения предела огнестойкости

металлических конструкций зданий и сооружений до R45, R60, R90, R120. Покрытие образованное огнезащитной краской "Термобарьер" соответствует нормам и правилам пожарной безопасности установленным в НПБ 236-97[2].

В настоящее время большой вопрос уделяется экономическому аспекту, поэтому была выполнена диаграмма, которая показывает стоимость противопожарной краски для пределов огнестойкости R45, R60, R90, R120.

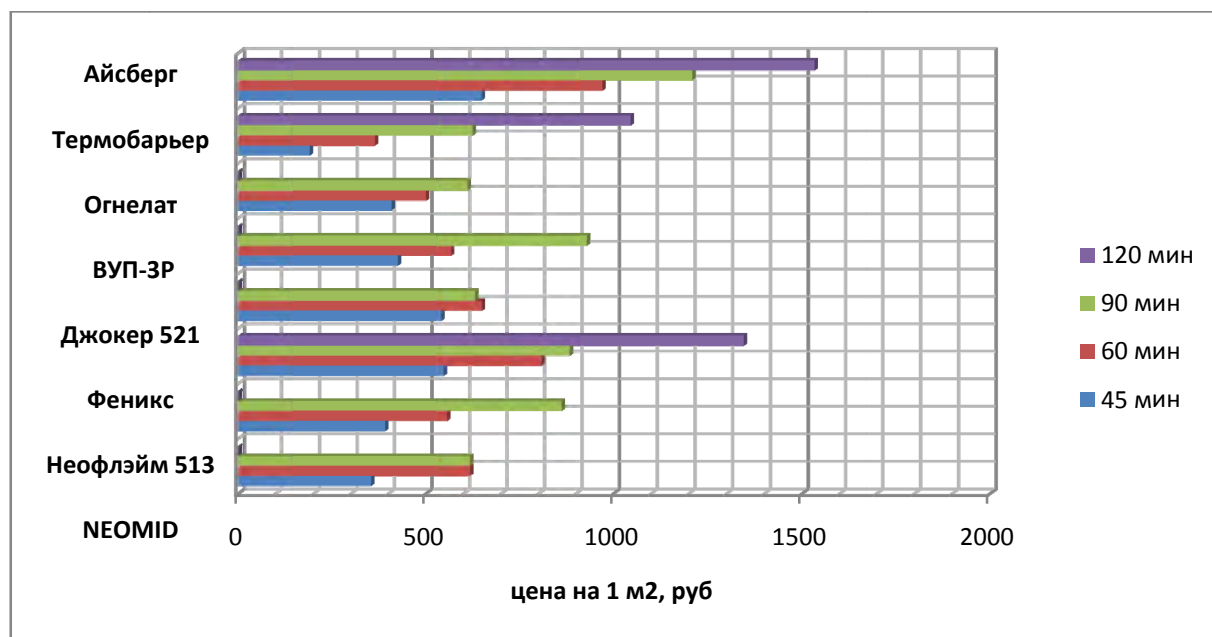


Рис. 2. Стоимость краски для пределов огнестойкости R45, R60, R90, R120

На основе диаграммы мы видим, что самой экономически выгодной оказалась огнезащитная краска "Термобарьер".

Таким образом, проведя исследование по различным типам огнезащитных лакокрасочных покрытий, можно сделать вывод, что наиболее целесообразно применять противопожарную краску "Термобарьер". Но была рассмотрена малая часть различных огнеупорных красок. Технологии огнезащитных вспучивающихся покрытий развиваются быстрыми темпами, поэтому возможно появление наиболее эффективных покрытий, удовлетворяющих спрос рынка.

1. НПБ 236-97 Огнезащитные составы для стальных конструкций. общие требования. метод определения огнезащитной эффективности. – Введ. 29.04.1997. – М. – 7 с.

2. [электронный ресурс]: содержит сведения о строительных материалах. – электрон. дан. – режим доступа: <http://www.himpark.ru>

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РУЛОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО СТАЛЬНЫМ КРОВЛЯМ ЗДАНИЙ

А.П. Евсеева

Научный руководитель И.С. Казакова, канд. техн. наук, доцент
Вологодский государственный университет
г. Вологда

Главным принципом длительной и надежной эксплуатации кровель является правильное их проектирование. Но любая кровля имеет свой ограниченный срок эксплуатации, кроме того, нельзя исключать и человеческий фактор при ее устройстве. Именно поэтому просто невозможно обойтись без ремонта даже металлической кровли, несмотря на ее долговечность. Основным повреждением металлической фальцевой является коррозия, следствием которой могут быть протечки. Ремонт таких кровель с большим износом, в свою очередь, требует больших материальных и трудовых затрат, снизить которые возможно благодаря использованию рулонных материалов. Использование рулонных материалов – это новое направление при ремонте стальных кровель. Кроме того, появился новый тип рулонных кровель по основанию из стеновых сэндвич-панелей. Такой тип кровли не представлен в нормативной литературе. В настоящее время он находится на стадии исследования, поскольку не каждый рулонный материал возможно использовать на таких кровлях.

Рассмотрим, какие рулонные покрытия наиболее целесообразно применять для ремонта стальной и устройства новой кровли, поскольку не каждый материал подойдет для устройства на такое основание. Причиной этому являются характеристики материала рулонных покрытий, которые на рынке строительных материалов многообразны и различны по цене, качеству и физико-механическим показателям, таким как прочность, относительное удлинение, гибкость и диапазон температур применения (табл. 1, 2). Исходя из данных показателей, можно выделить два подхода в выборе покрытия. В первом подходе основой выбора служит эластичность, во втором – прочность материала. Материалы, удовлетворяющие первому подходу – полимерные рулонные покрытия, которые обладают большим относительным удлинением при разрыве. Во втором подходе рассматриваем битумно-полимерные материалы, обладающие большой разрывной силой при растяжении.

Проанализировав и сравнив две группы этих материалов (см. таблицы 1, 2) можно сделать следующие выводы. Более современными и подходящими материалами для устройства на стальную кровлю являются полимерные мембраны, однако в разговорах об их преимуществах обычно умалчивают важнейшую деталь – очень большую стоимость их применения. Кроме стоимости, плюсом битумно-полимерных материалов является довольно высокая прочность, что компенсирует недостаток эластичности.

Таблица 1

Характеристики полимерных мембран

Наименование материала	Технические характеристики материала					
	Условная прочность, МПа Арм/неарм	Относительное удлинение при разрыве, %	Гибкость при отрицательных температурах, °С	Теплостойкость, °С	Долговечность, лет	Стоимость руб. за м2
Элон супер Н	-/9,9	452	-35	+120	До 25	425
LOGICROOF	12/-	125	-45	-	25-30	600-400

Таблица 2

Характеристики полимерно-битумных материалов

Наименование материала	Технические характеристики материала					
	Условная прочность, МПа Арм/неарм	Относительное удлинение при разрыве, %	Гибкость при отрицательных температурах, °С	Теплостойкость, °С	Долговечность, лет	Стоимость руб. за м2
Техноэласт – SOLO	≈ 20	-	-25	+140	35	278
Монокрон	≈ 14,8	43	-25	+110	20	142

Остановимся на применении битумно-полимерных материалов для ремонта стальной кровли. Это материалы на нетканой или синтетической основе из полиэстера, стеклохолста или стеклоткани. Наиболее подходящей основой для применения на стальных кровлях является полиэстер, он не уступает по прочности основе из стеклоткани, а так же обладает относительным удлинением до 50%.

Полотнища битумно-полимерного материала настилают методом наплавления. Применение огневого метода монтажа рулонных материалов возможно при ремонте фальцевых кровель и крайне нежелательно при устройстве новых кровель по сэндвич-панелям. Отсюда появляется необходимость в применении безогневых способов укладки битумно-полимерных материалов. К таким способам можно отнести:

- механическое закрепление материалов;
- наклеивание материалов с применением холодных мастик;
- наклеивание материалов с применением растворителей;

При возведении новых кровель по стеновым сэндвич-панелям следует убедиться в возможности использования рулонного материала по такому ос-

нованию. Важно знать, выдержит ли температурную нагрузку клеевое соединение обшивки и утеплителя сэндвич-панели, поскольку рулонный материал стремительно нагревается в жаркую погоду, а следовательно, и нагревает металлическую обшивку. Температура нагрева поверхности рулонного материала темного цвета в летнее время, которая может превышать 70°C. В свою очередь, клей для сэндвич панелей различных марок, по данным производителя, работает в диапазоне температур от -50°C до 90°C.

Определим температуру поверхности рулонной темной кровли в дни с максимальной температурой воздуха в различных регионах России [1, 2]. Воспользуемся формулами, применяемыми для оценки влияния параметров окружающей среды на здание, т.е. при расчете теплопритоков через ограждающие конструкции здания [4]. Температура наружного воздуха, воздействие которой на ограждение эквивалентно суммарному воздействию температуры наружного воздуха и солнечной радиации является условной температурой. Температура поверхности кровли t_n может быть определена по формуле для определения температуры в произвольном сечении многослойной стенки, которая в нашем случае будет иметь следующий вид:

$$t_n = t_y + \frac{t_y - t_g}{\alpha_n \cdot R}, \text{ где } t_y - \text{условная температура, } ^\circ\text{C}, t_y = t_H + \frac{p \cdot q}{\alpha_n};$$

t_g – температура внутреннего воздуха, °C;

R – термическое сопротивление покрытия, $\text{м}^2\cdot\text{K}/\text{Вт}$, $R = \frac{1}{\alpha_n} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_g}$;

α_n – суммарный коэффициент теплоотдачи на наружной поверхности, $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{K})$, $\alpha_n = 1,16 \cdot (5 + 10 \cdot \sqrt{v})$

Таблица 3

Расчетная температура поверхности кровли

Населенный пункт	Расчетная температура наружного воздуха, °C	Минимальная из средних скоростей ветра за июль, м/с	Интенсивность суммарной солнечной радиации, Вт/м ²	Расчетная температура наружной поверхности покрытия, °C	Разность температур (кровля-наружный воздух)
Астрахань	32	3,2	880,7	62,26	30,26
Волгоград	31	1	877	77,2	46,2
Вологда	26	1	856	71,02	45
Мурманск	20	5,5	889	44,43	24,43
Анадырь	16	12,7	855	32,4	16,39
Краснодар	31	1	886	77,67	46,67

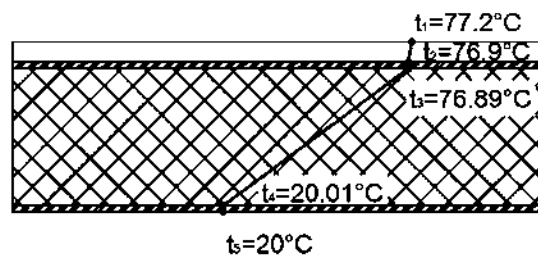


Рис. 1. Распределение температуры в кровельном пироге при 77,2°С

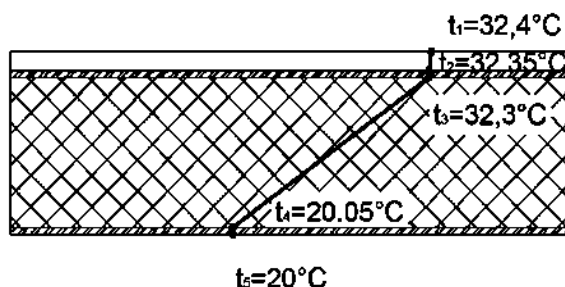


Рис. 2. Распределение температуры в кровельном пироге при 32,4 С

Параметры, которые существенно влияют на температуру поверхности битумно-полимерной кровли: коэффициент теплообмена, зависящий только от расчетной скорости ветра; температура наружного воздуха; интенсивность падающей на поверхность кровли суммарной солнечной радиации; коэффициент поглощения.

Исходя из полученных температур для разных регионов [3] можно сделать вывод о том, что битумно-полимерный рулонный материал может быть использован на кровельных сэндвич-панелях, но в зависимости от региональной принадлежности объекта строительства.

1. Воронин А.М, Орлов Ю.Н. Факторы, влияющие на температуру плоских кровель [Текст] / А.М. Воронин, Ю.Н. Орлов // Кровли. – 2008. – № 6. – С. 34-36.

2. Семенов Ю.В. Температура здоровья кровли [Текст] / Ю.В. Семенов // Кровли. Интернет издание -2012.

3. СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99* (с Изменением N 2): Приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) 30.06.2012 г. № 275 – Введ. 01.01.2013. – М.: Минрегион России, 2012. – 386 с.

4. Строительная теплофизика: Учебник /В.М..Богословский. – М.: Высшая школа, 1982. – 415 с. [Т]

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНОЙ СХЕМЫ ЗДАНИЯ НА ЕГО ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Е.И. Кабакова

Научный руководитель Н.М. Дементьев, канд. техн. наук, доцент
Вологодский государственный университет
г. Вологда

Землетрясения – разрушительное и непредсказуемое природное явление. На данный момент в России более 30% территорий являются сейсмоопасными. Кроме того, наблюдается тенденция увеличения сейсмических зон. В связи с этим при строительстве в таких районах следует выполнять требования и рекомендаций СП 14.13330.2014[3], одним из которых является разработка симметричных, простых конструктивно-планировочных решений зданий и сооружений.

В работе проводится исследование влияния конструктивной схемы (три варианта конструктивной схемы) монолитного железобетонного каркасного двенадцатиэтажного жилого здания на его динамические характеристики при одинаковом варианте ограждающих конструкций стен, конструкции кровли и фундамента. Все три варианта конструкций вписаны в один строительный объём.

Первый вариант конструктивной схемы:

- несущие монолитные железобетонные колонны сечением 400х400мм из бетона класса В25;
- несущие диафрагмы жесткости по контуру лестнично-лифтового узла, а также дополнительные диафрагмы в количестве трех в продольном и поперечном направлении толщиной 160 мм из бетона класса В25;
- конструкция перекрытий и покрытия – монолитные железобетонные плиты толщиной 180 мм из бетона класса В25;
- конструкция фундамента – монолитная железобетонная плита толщиной 700 мм из бетона класса В25.

Второй вариант конструктивной схемы:

- несущие монолитные пилоны сечением 200х1000мм из бетона класса В25, ориентированные преимущественно вдоль оси ОХ;
- несущие диафрагмы жесткости по контуру лестнично-лифтового узла, а также дополнительные диафрагмы в количестве трех в продольном и поперечном направлении толщиной 160 мм из бетона класса В25;
- конструкция перекрытий и покрытия – монолитные железобетонные плиты толщиной 180 мм из бетона класса В25;
- конструкция фундамента – монолитная железобетонная плита толщиной 700 мм из бетона класса В25.

Третий вариант конструктивной схемы:

- несущие монолитные пилоны сечением 200x1000мм из бетона класса В25, ориентированные преимущественно вдоль оси ОХ;
- несущие диафрагмы жесткости по контуру лестнично-лифтового узла, а также дополнительные диафрагмы в количестве четырех с оптимизированным расположением в продольном и поперечном направлении в углах здания толщиной 160 мм из бетона класса В25;
- конструкция перекрытий и покрытия – монолитные железобетонные плиты толщиной 180 мм из бетона класса В25;
- конструкция фундамента – монолитная железобетонная плита толщиной 700 мм из бетона класса В25.

Во всех трех вариантах принимаем категорию грунта II.

В ходе исследования выполнен расчет здания с расчетной сейсмичностью 7 баллов с учетом конструктивной схемы в программном комплексе SCAD Office 11.5 в соответствии с нормативной литературой [1], [2], [3].

В результате исследования были определены периоды и формы колебаний для каждой конструктивной схемы.

Формы колебаний здания представлены на рисунках 1-3.

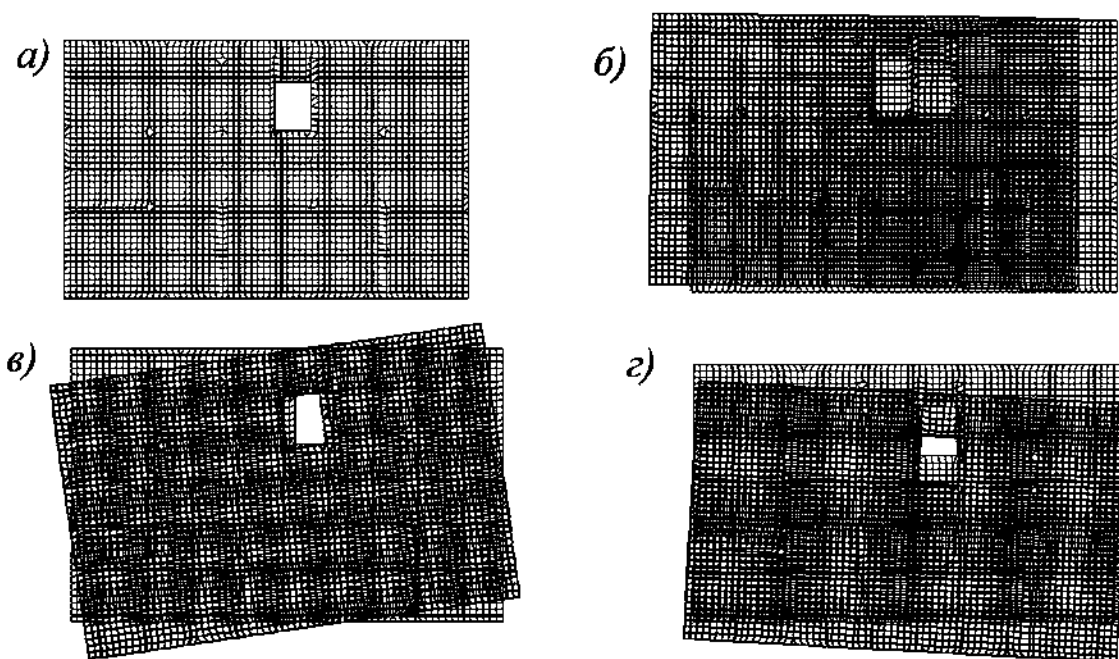


Рис. 1. Первый вариант схемы:

- а) расчетная схема;*
- б) деформированная схема, первая форма колебаний;*
- в) деформированная схема, вторая форма колебаний;*
- г) деформированная схема, третья форма колебаний*

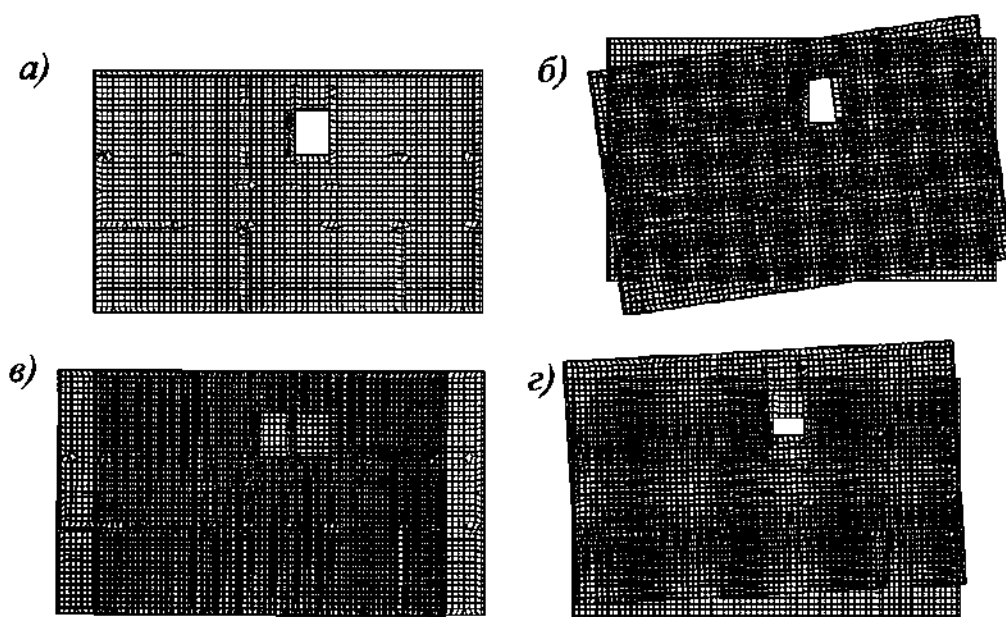


Рис. 2. Второй вариант схемы:

- а) расчетная схема;
 б) деформированная схема, первая форма колебаний;
 в) деформированная схема, вторая форма колебаний;
 г) деформированная схема, третья форма колебаний

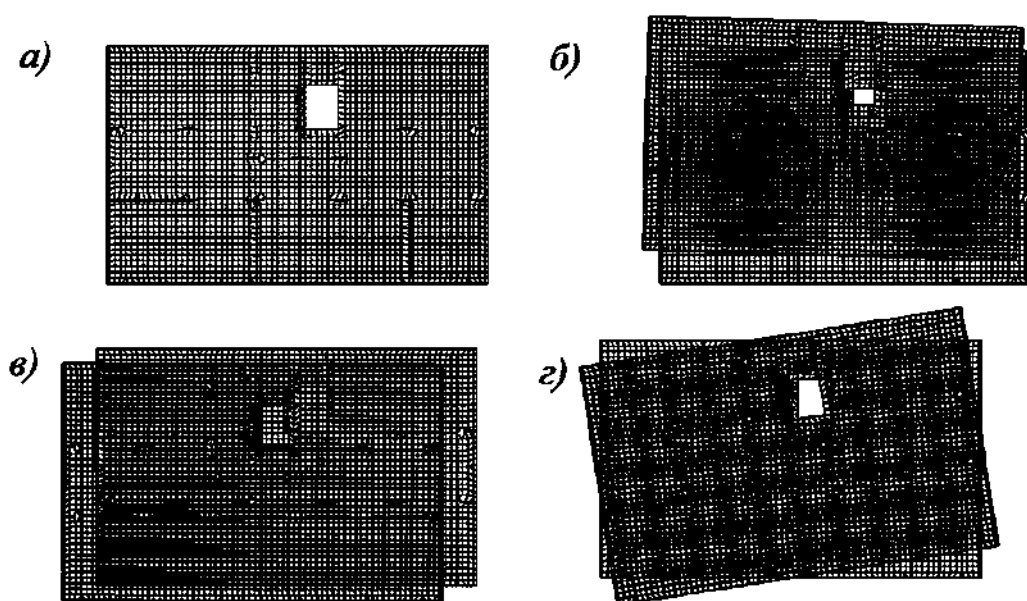


Рис. 3. Третий вариант схемы:

- а) расчетная схема;
 б) деформированная схема, первая форма колебаний;
 в) деформированная схема, вторая форма колебаний;
 г) деформированная схема, третья форма колебаний

Результаты расчетов необходимые для исследования представлены в таблице ниже.

Сравнение динамических характеристик здания

Показатель	Единицы измерения	Первый вариант	Второй вариант	Третий вариант
Номер формы колебания, на которую приходится крутильная		1 форма	1 форма	3 форма
Период первой формы колебаний	сек	2,6218	2,5249	2,1420
Период второй формы колебаний	сек	2,2135	1,9463	1,8525
Период третьей формы колебаний	сек	1.8594	1,8377	1,4743
Коэффициент динамичности β_i первой формы колебаний		0.156	0.159	0.173
Коэффициент динамичности β_i второй формы колебаний		0.170	0.181	0.186
Коэффициент динамичности β_i третьей формы колебаний		0.186	0.187	0.208

Значения коэффициента динамичности в зависимости от расчетного периода собственных колебаний здания или сооружения по i -й форме при определении сейсмических нагрузок следует принимать по формуле (3)[3] или согласно рисунку 2 [3].

При анализе параметров выявлено, что при первых двух вариантах конструктивной схемы первая форма колебаний – крутильная относительно вертикальной оси Z. В Своде правил [3] говорится, что «конструктивно-планировочное решение здания является простым, если первая и вторая формы собственных колебаний сооружения не являются крутильными относительно вертикальной оси». В случае первого и второго варианта схемы, можно сделать вывод о недостаточной жесткости здания и нерациональном расположении диафрагм жесткости. Из этого следует, что данные конструктивные схемы использовать при данных сейсмических условиях нецелесообразно. Однако, оптимизацией расположения диафрагм жесткости можно добиться возникновения крутильной формы колебаний на третьей форме, что свидетельствует об оптимальной жесткости здания. Также по результатам таблицы 1 выявлено, что жесткость здания влияет на его динамические характеристики.

По результатам исследования можно сделать вывод о необходимости поиска баланса при выборе схемы между необходимостью иметь достаточную жесткость, чтобы избежать крутильной формы и чрезмерного ее увеличения, чтобы не допустить увеличения сейсмических сил, действующих на здание.

1. СП 20.13330.2011. Свод правил. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП II-01-85*: утв. Минрегион России 27.12.2010г. №787.- Введ. 20.05.2011г. – М.: Минрегион России, 2011. – 80 с.

2. СП 52-101-2003. Свод правил по проектированию и строительству. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры: утв. Госстрой России 25.12.2003г. №215. – Введ. 01.03.2004. – М.: Госстрой России, 2004. – 142с.

3. СП 14.13330.2014 Свод правил. Строительство в сейсмических районах СНиП II-7-81* (актуализированного СНиП II-7-81* "Строительство в сейсмических районах"): утв. Минстрой России 23.11.2015г. № 844/пр.- Введ. 01.12.2015г. – М.: Минстрой России, ФЦС, 2016 год – 131 с.

РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ ПО КРИТЕРИЮ ПРОЧНОСТИ РАБОЧЕЙ АРМАТУРЫ В СЕЧЕНИИ БАЛКИ С НОРМАЛЬНОЙ ТРЕЩИНОЙ В БЕТОНЕ НА СТАДИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

К.А. Карпушова

*Научный руководитель В.С. Уткин, д-р. техн. наук, профессор
Вологодский государственный университет
г. Вологда*

С 1 июля 2010 г. вступил в силу закон Российской Федерации №384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», который устанавливает минимально необходимые требования к зданиям и сооружениям по механической безопасности. Буквально прописано следующее: «строительные конструкции должны обладать такой прочностью и устойчивостью, чтобы в процессе строительства и эксплуатации не возникло угрозы причинения вреда жизни и здоровью людей в результате разрушения отдельных несущих строительных конструкций или их частей...». Также согласно этому закону, безопасность зданий и сооружений должна быть обоснована расчетами.

В 2015 г. вышел межгосударственный стандарт ГОСТ Р 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований», который устанавливает общие принципы обеспечения надежности строительных конструкций и оснований.

Надежность является одной из мер безопасности зданий и сооружений.

Происходящие по всему миру аварии говорят об отсутствии расчетов надежности и их реализации в строительных конструкциях, а также о том, что на практике «надежность лишь декларируется, но количественной оценки не приобретает» [1].

Рассмотрим проблему оценки безопасности эксплуатации и методы расчетов надежности железобетонных балок по критерию прочности рабочей арматуры в сечении с трещиной, где наблюдается резкое возрастание напряжений в арматуре и бетоне. Отдельные примеры таких балок с трещиной показаны на рисунке 1.

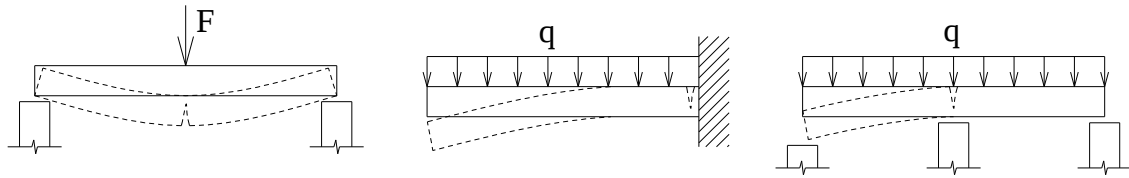


Рис. 1. Примеры балок с раскрытием одиночной трещины

При ширине раскрытия трещины a_{crc} и при выполнении условия $a_{crc} \leq a_{crc,ult}$, где $a_{crc,ult}$ – предельная ширина раскрытия трещины, состояние железобетонной балки считается работоспособным. Оценку безопасности эксплуатации балки по критерию прочности арматуры в этом случае проводим по модели вида $\sigma_s \leq \sigma_{s,np}$, где в качестве $\sigma_{s,np}$ принимается $\sigma_{0,2}$. Нами предлагается новый подход к расчету надежности железобетонной балки при условии $a_{crc} \leq a_{crc,ult}$, где $a_{crc,ult} = 0,3 \text{ мм}$, т.к. и при $a_{crc} \leq a_{crc,ult}$ надежность балки может быть недостаточной.

В несущих железобетонных балках в соответствии с законом РФ №384-ФЗ необходимо проверять уровень безопасности (надежности) их эксплуатации. Это необходимо для принятия решения о дальнейшей эксплуатации балки или ее замене, об усилении или о прекращении эксплуатации. Для принятия того или иного решения необходимо рассчитать надежность балки по всем критериям ее работоспособности (по прочности арматуры и бетона, по жесткости, ширине раскрытия трещин), в том числе по прочности рабочей арматуры в сечении балки с трещиной по модели:

$$\tilde{\sigma}_s \leq \tilde{\sigma}_{s,np}, \quad (1)$$

где $\tilde{\sigma}_s$ – напряжение в рабочей арматуре балки в сечении с трещиной (волнистая линия указывает на то, что $\tilde{\sigma}_s$ случайная величина); $\tilde{\sigma}_{s,np}$ – предельное напряжение в арматуре.

На стадии эксплуатации с течением времени $\sigma_{s,np}$ уменьшается и его значение приходится определять испытаниями образцов из арматуры балки [2] в количестве не менее двух.

В настоящее время не существует методов определения значения σ_s в сечении балки с трещиной, для использования в условии (1), поэтому предлагается σ_s измерять косвенно через ширину раскрытия трещины a_{crc} , используя для этого известную формулу, применяемую на практике [3,4] в виде:

$$a_{crc} = 20(3,5 - 100\mu)\delta\eta\phi_l(\sigma_s / E_s)^{3/4}d, \quad (2)$$

где μ – коэффициент армирования сечения, $\mu = A_s / bh_0$, принимаемый в расчете не более 0,02; $\delta = 1$ – для изгибаемых и внецентренно сжатых элементов, $\delta = 1,2$ – для растянутых элементов коэффициент, η – зависящий от вида профиля продольной растянутой арматуры: $\eta = 1$ – для арматуры периодического профиля, $\eta = 1,4$ – для гладкой арматуры; φ_1 – коэффициент, учитывающий длительность действия нагрузки, $\varphi_1 = 1,6 - 15\mu$; σ_s – напряжение в растянутой арматуре; E_s – модуль упругости стали арматуры; d – диаметр арматуры, мм.

Для балки с серией трещин в СП 63.13330.2012 используется формула

$$a_{crc} = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi_s l_s \sigma'_s / E_s^{\text{sec}}, \quad (3)$$

В работе [5] академик Н.Н. Карпенко и другие предложили уточнить формулу с СП 63.13330.2012 заменой $E_s = 2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$ секущим модулем упругости стали E_s^{sec} , который можно определить по результатам испытаний образцов из арматуры балки по [2], значение которого меньше, и определяется в зависимости от σ'_s арматуры в трещине, которую найдем из (2). В (3) по [2] предложено σ'_s принимать в сечении с трещиной, которое больше чем σ_s , принимаемое по СП. Эти уточнения нами используются в формуле (2), из которой найдем

$$\sigma'_s = a_{crc} \cdot E_s^{\text{sec}} / 20(3,3 - 100\mu)\delta\eta\varphi_1 \sqrt[3]{d}, \quad (4)$$

С учетом (1) и (4) получим $\tilde{a}_{crc} \cdot E_s^{\text{sec}} \leq \tilde{\sigma}_{s,np} \cdot 20(3,3 - 100\mu)\delta\eta\varphi_1 \sqrt[3]{d}$ или

$$X \leq Y, \quad (5)$$

где $X = \tilde{a}_{crc} \cdot E_s^{\text{sec}}$; $Y = \tilde{\sigma}_{s,np} \cdot 20(3,3 - 100\mu)\delta\eta\varphi_1 \sqrt[3]{d}$.

Статистическая информация о $\tilde{a}_{crc}$ и $\tilde{\sigma}_{s,np}$ или X и Y в (5) для индивидуальной балки, как правило, ограничена, и поэтому применение вероятностно-статистических методов (по ГОСТ 27751-2014) при отсутствии полной статистической информации может привести к ошибочному результату и вызвать сомнение к результатам расчетов надежности. В связи с этим для расчета надежности железобетонной балки используем методы [6,7], X и Y будем описывать функциями распределения возможности [7] вида

$$\pi_X(x) = \exp\left[-\left(\frac{x - a_x}{b_x}\right)^2\right] \text{ и } \pi_Y(y) = \exp\left[-\left(\frac{y - a_y}{b_y}\right)^2\right], \quad (6)$$

где $a_x = 0,5(X_{\max} + X_{\min})$; $b_x = 0,5(X_{\max} - X_{\min}) / \sqrt{-\ln \alpha}$, значением α задаются [7]. Аналогично этому находят a_y и b_y при том же значении α .

Расчетную математическую модель предельного состояния (5) можно представить в графическом виде на рисунке 2.

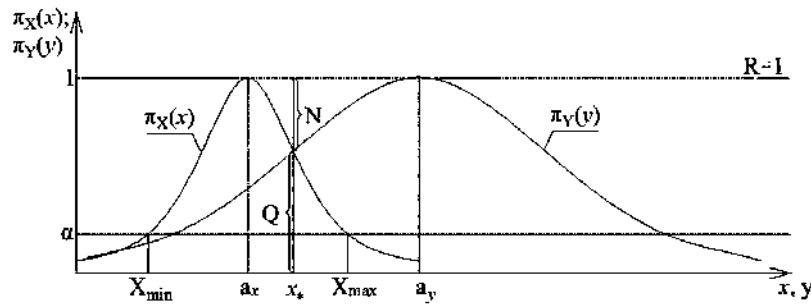


Рис. 2. Функция распределения возможности

При $a_x < a_y$ (условное среднее значение нагрузки меньше условного среднего значения прочности) возможность безотказной работы по [7] $R=1$.

Возможность отказа $Q = \exp \left[- \left(\frac{x_* - a_x}{b_x} \right)^2 \right]$, где x_* находят из равенства

$|\pi_X(x) = \pi_Y(y)|$. Значение x_* должно удовлетворять условию $a_x \leq x_* \leq a_y$.

Необходимость безотказной работы балки по [7] $N = 1 - Q$.

Надежность балки по критерию прочности арматуры в сечении с трещиной с шириной раскрытия $a_{cr} = 0,3 \text{ мм}$ в соответствии с СП 63.13330.2012 характеризуется интервалом $[N; R]$ или в вероятностных показателях $[\underline{P}; \bar{P}]$, где $\underline{P}, \bar{P}$ – нижнее и верхнее значения вероятности безотказной работы балки по прочности рабочей арматуры.

Рассмотрим пример расчета надежности балки по критерию (1) с исходными данными, заимствованными из [4]:

$$a_x = 0,5(0,21 + 0,15) \cdot 10^{-3} \cdot 1,9 \cdot 10^{11} = 0,34 \cdot 10^8 \text{ Н / м}$$

$$b_x = 0,5(0,21 - 0,15) \cdot 10^{-3} \cdot 1,9 \cdot 10^{11} / \sqrt{-\ln 0,05} = 0,033 \cdot 10^8 \text{ Н / м}$$

$$a_y = 0,5(280 + 240) \cdot 10^6 \cdot 20 \cdot (3,5 - 100 \cdot 0,0082) \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 1 \cdot \sqrt[3]{14} \cdot 10^{-3} = 0,504 \cdot 10^8 \text{ Н / м}$$

$$b_y = 0,5(280 - 240) \cdot 10^6 \cdot 20 \cdot (3,5 - 100 \cdot 0,0082) \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 1 \cdot \sqrt[3]{14} \cdot 10^{-3} / \sqrt{-\ln 0,05} = 0,0224 \cdot 10^8 \text{ Н / м}$$

$$\left| \frac{x_* - 0,34 \cdot 10^8}{0,033 \cdot 10^8} \right| = \left| \frac{x_* - 0,504 \cdot 10^8}{0,0224 \cdot 10^8} \right| \rightarrow x_* = 0,407 \cdot 10^8 \text{ Н / м}. \text{ Условие выполнено.}$$

$$Q = \exp \left[- \left(\frac{0,407 \cdot 10^8 - 0,34 \cdot 10^8}{0,033 \cdot 10^8} \right)^2 \right] = e^{-3,955} = 0,019$$

$$N = 1 - 0,019 = 0,981$$

Надежность характеризуется $[0,981; 1]$.

Выводы:

1. Предложен новый метод определения напряжений в рабочей арматуре в сечении балки с нормальной трещиной через измерение ширины раскрытия трещины в растянутой зоне бетона по уточненной формуле.

2. Приведено графическое представление решения задачи с определением надежности железобетонной балки с трещиной.

3. Приведен новый метод расчета надежности железобетонной балки по уточненной формуле по прочности рабочей арматуры при наличии в балке нормальной трещины.

1. Клевцов В.А., Кузеванов Д.В. Вопросы проектирования конструкций с использованием теории надежности // Бетон и железобетон, 2009. №2. с. 9–13.

2. Бедов А. И., Сапрыкин В. Ф. Обследование и реконструкция железобетонных и каменных конструкций эксплуатируемых здания и сооружений: Учебное пособие. – М.: Изд. АСВ, 1995. – 192 с.

3. Расторгуев Б.С., Ванус Д.С. Расчет железобетонных конструкций по предельным состояниям с применением вероятностного метода // Промышленное и гражданское строительство, 2016. №7. с. 11–15.

4. Байков В.Н., Сигалов Э.Е. Железобетонные конструкции / Общий курс: Учеб. для вузов – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1991. – 767 с.

5. Карпенко Н.И., Соколов Б.С., Радайкин О.В. К оценке прочности, жесткости, момента образования трещин и их раскрытия в зоне чистого изгиба железобетонных балок с применением нелинейной деформационной модели // Известие вузов. Строительство. 2016. №3. с. 5–10.

6. Уткин В.С., Уткин Л.В. Несущая способность и надежность строительных конструкций. – Вологда: ВоГТУ, 2000. – 152 с.

7. Уткин В.С. Расчет надежности строительных конструкций при различных способах описания неполноты информации: учебное пособие / В.С. Уткин, Л.В. Уткин. – Вологда, 2009. – 126 с.

8. Дюбуа Д., Прад А. Теория возможностей. Приложения к представлению знаний в информатике / Пер. с фр. М.: Радио и связь, 1990. – 288 с.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ВЕТРОВОЙ НАГРУЗКИ НА ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

А.А. Митюгов

Научный руководитель Н.М. Дементьев, канд. техн. наук, доцент
Вологодский государственный университет
г. Вологда

Расчёт взаимодействия ветровых потоков с конструкциями является важной задачей при проектировании жилых и производственных комплексов. Корректное решение данной задачи обеспечивает безопасность как на стадии строительства, так и на стадии эксплуатации (высотных зданий, большепролетных конструкций, сооружений уникальной архитектуры, и т.д.), пешеходную комфортность (для создания благоприятной среды в пешеходных зонах) и экономичность строительных конструкций.

Возведение новых объектов в условиях плотной городской застройки может повлечь за собой изменение аэродинамики окружающих строений, способствовать формированию зон повышенного вихреобразования или усиления ветровых нагрузок. В процессе эксплуатации сооружений зачастую требуется возведение дополнительных конструктивных элементов (антенн, заграждений, рекламных щитов и др.), при проектировании которых необходимо учитывать возможное изменение аэродинамики.

Целью работы является анализ методов расчёта ветровой нагрузки на здания и сооружения, выявление достоинств и недостатков существующих методов. Результаты исследования приведены в таблице.

Таблица

Сравнение методов расчёта зданий и сооружений на ветровые воздействия

Сравниваемые параметры и аспекты методов	Название методов, их оценка и характеристика		
	Методы математического моделирования (расчёт в соответствии с [1])	Моделирование нагрузки в аэродинамической трубе	Компьютерное моделирование в программном комплексе
Универсальность в применении к зданиям и сооружениям сложной геометрической формы	“-” Формулы СП часто дают завышенные результаты, так как в СП приведено ограниченное число форм зданий, а также отсутствуют формулы для расчета зданий в застройках.	“+/-” Возможно моделирование зданий и сооружений сложной геометрической формы, но при продуве в аэродинамической трубе имеются ограничения на размеры продуваемого объекта и на скорость потока.	“+” Метод компьютерного моделирования предоставляет возможность расчёта ветровых воздействий на здания любой геометрической формы, любого размера, с учётом существующей застройки.

Сравниваемые параметры и аспекты методов	Название методов, их оценка и характеристика		
	Методы математического моделирования (расчёт в соответствии с [1])	Моделирование нагрузки в аэродинамической трубе	Компьютерное моделирование в программном комплексе
Трудоёмкость метода	“+/-” Так как метод базируется на ручном расчёте с использованием готовых аэродинамических формул, то метод является относительно несложным, но достаточно трудоёмким.	“-” Необходимо предварительное создание макета с учётом прочностных характеристик проектируемого строения.	“+” Не является трудоёмким при соответствующем оборудовании (персональный компьютер, программный комплекс).
Доступность при проектировании	“+” Метод математического моделирования является доступным и не требует особого оборудования/оснащения (СП).	“-” Моделирование в аэродинамической трубе является малодоступным методом (ближайшая располагается в МГУ)	“+/-” Метод требует навыков владения компьютером и освоения программного комплекса, что, в принципе, в современном мире не является проблемой.
Экономичность и стоимость метода	“+” Не требует больших вложений.	“-” Метод моделирования нагрузки в аэродинамической трубе требует значительных материальных затрат.	“+” Относительно предыдущего метода, данный метод не требует больших вложений.
Временные параметры	“+” Расчёт ветровой нагрузки данным методом занимает наименьшее количество времени.	“-” В среднем продувка в аэродинамической трубе занимает от 3 до 6 месяцев (в зависимости от сложности геометрических форм).	“+” Данный метод займёт, в среднем, на 90% времени меньше необходимого на строительство полномасштабной модели и испытания ее в аэродинамической трубе.
Результаты методик расчёта	“-” Данный метод расчёта может предоставить лишь грубую оценку ветровых воздействий, и должен дополняться данными физических экспериментов в аэродинамических трубах.	“+” Моделирование ветровой нагрузки на полномасштабную модель в аэродинамической трубе представит полную оценку ветровых воздействий.	“+” Данный метод представит полную оценку ветровых воздействий на здания и сооружения.

Наглядным примером того, как метод компьютерного моделирования используется в проектировании спортивных сооружений, может послужить национальный стадион Бразилии имени Манэ Гарринчи. Стадион был построен в 1974 г. и затем был реконструирован. К нему были добавлены новый фасад, металлическая крыша и места для зрителей, а также занижен уровень футбольного поля, что обеспечивает полный обзор с любого места стадиона. В предверии чемпионата мира по футболу 2014 года появилась необходимость в уточняющих расчётах того, как будут влиять сильнейшие бразильские ветра на конструкции стадиона. Специалистам, проводившим расчёты [2], по причине жесткого ограничения во времени, пришлось использовать компьютерное моделирование, ввиду того, что времени для выполнения исследования по традиционной методике со строительством масштабной модели было недостаточно. В результате исследование было выполнено за 15 дней, что оказалось меньше на 90% временных затрат, необходимых на строительство масштабной модели и ее испытания в аэродинамической трубе. С точки зрения материальных затрат было потрачено на 66% меньше по сравнению со стоимостью физических испытаний. В качестве программного обеспечения использовался программный комплекс ANSYS.

Исходя из проведённого исследования можно сделать вывод, что использование метода компьютерного моделирования в программном комплексе с использованием современных вычислительных технологий является перспективным подходом, позволяющим сократить временные и финансовые затраты, оптимизировать инженерный проект.

1. СП 20.13330.2011. Свод правил. Нагрузки и воздействия: актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*: утвержден приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) 27.12.2010 № 787 – введ. 10.05.2010 – М: Национальные стандарты, 2010. – 79 с.

2. Моделирование в ANSYS обеспечивает прочность стадиона на чемпионате мира по футболу 2014 [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: <http://news.plm-ural.ru>.

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СТРОПИЛЬНЫХ ФЕРМ МАШИННОГО ЗАЛА ЛИСТОПРОКАТНОГО ЦЕХА №1 ОАО « СЕВЕРСТАЛЬ»

Н.А. Панова

Научный руководитель **О.С. Плотникова**, канд. техн. наук, доцент
Вологодский государственный университет
г. Вологда

Для оценки надежности любой конструкции требуется статистическая информация о случайных параметрах системы и воздействий. Объем и точность этой информации считаются полными, если по ней можно выявить законы (функции) распределения случайных величин и с достаточной точностью оценить параметры распределений.

В последнее время в ситуации, когда статической информации не достаточно, или она не достаточна для оценки надежности строительных конструкций (что нередко встречается на практике, например, при ускоренной оценке надежности элемента в условиях аварийной ситуации), применение методов определения надежности, построенных на теории вероятностей и математической статистики, становится некорректным, а с точки зрения использования их для оценки безопасности – недопустимыми. При неполной информации о случайных параметрах анализ их проводится на основе теории возможностей.

По теории возможностей нечеткая переменная характеризуется одновременно двумя функциями распределения возможностей, а также их параметрами. На рис.1 в качестве примера приведены в графической форме две функции распределения возможностей, характеризующих нечеткую переменную X (например, прочность материала или состояние конструкции) при различных значениях нагрузки x .

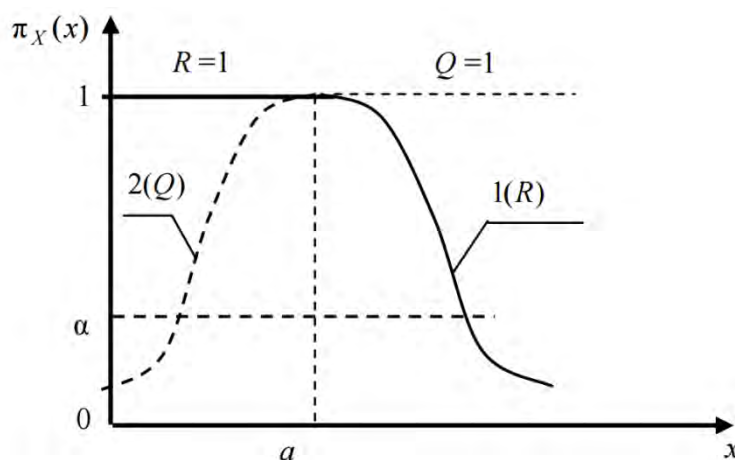


Рис.1. Функции распределения R и Q нечеткой переменной X ;
 a – «среднее» значение нечеткой переменной

Из рисунка 1 видно, что $R+Q>1$ (в отличие от теории надежности на основе теории вероятностей, где $R+Q=1$). По содержательному смыслу при оценке безопасности от возрастающей нагрузки x назовем функцию распределения Q возможностью отказа, а R – возможностью безотказной работы. Часто криволинейные участки этих функций описываются математической моделью вида:

$$\pi_x(x) = \exp\{-(x-a)/b\}^2\}, (*)$$

где $a = 0,5(x_{max} + x_{min})$; $b = 0,5(x_{max} - x_{min})/\sqrt{-\ln a}$, a – уровень среза (рис. 1) или уровень риска ($a \in [0; 1]$).

Эта модель нашла широкое применение в работах [1], [2], [3]. Значением a задаются. Рекомендации по принятию того или иного значения a можно найти в работе [4].

Воспользуемся теорией возможностей для определения надежности стропильных ферм здания машинного зала №1 ЛПЦ-1 ОАО «Северсталь».

В результате обследования ферм было установлено следующее:

- габаритные размеры, длины, сечения конструктивных элементов в основном соответствуют принятым в проекте. В отличие от проекта изменено очертание решетки ферм. Для уменьшения длины панели до 1,5м введены дополнительные шпренгельные элементы. Сечения элементов осталось без изменений;

- прогибы ферм находятся в пределах нормативных величин [5];

- для определения механических и химических свойств стали, из которой изготовлены фермы, взяты образцы металла. Установлено, что в конструкциях ферм применена сталь, соответствующая современной маркировке Ст2кп по ГОСТ 380-94. Измерение твердости было выполнено динамическим твердомером ТЕМП-2 №021796. Значения твердости и пределов текучести приведены в таблице 1;

- фермы здания машинного зала №1 ЛПЦ-1 находятся в работоспособном состоянии. Категория дефектов “В”.

Таблица 1

Результаты измерения твердости материала стропильных ферм здания машинного зала №1 ЛПЦ-1 ОАО "Северсталь"

Точка замера	Место замера	Твердость, НВ, МПа	σ_T , МПа
1	Элемент решетки фермы по оси 114 и ряду С отметка +12.500.	125,115,130, 112,124,123	294, 270, 306, 263, 291, 289
2	Элемент решетки фермы по оси 98 и ряду С отметка +12.500.	126,113,119, 128,117,110	296, 266, 280, 300, 275, 259
3	Элемент решетки фермы по оси 78 и ряду С отметка +12.500.	128,122,114, 116,128,124	300, 287, 268, 273, 300, 291
4	решетки фермы по оси 114 и ряду Т отметка +12.500.	125,113,117, 128,124,111	294, 266, 275, 300, 291, 261

Точка замера	Место замера	Твердость, НВ, МПа	σ_T , МПа
5	Элемент решетки фермы по оси 98 и ряду Т отметка +12.500.	113,118,117, 126,124,120	266, 277, 275, 296, 291, 282
6	Элемент решетки фермы по оси 78 и ряду Т отметка +12.500.	122,129,113, 118,121,126	287, 303, 266, 277, 284,296

В результате обследования был выполнен расчет стропильных ферм с учетом измененного очертания и с учетом увеличения снеговой нагрузки (за счет появления снегового мешка).

Сечения элементов ферм приняты по результатам выборочных обмеров. Значения постоянных и временных нагрузок приняты в соответствии со значениями таблицы 2. Коэффициенты μ для снеговой нагрузки приняты в соответствии с рисунком 2.

Таблица 2

Постоянные и временные нагрузки на ферму

№ п/п	Наименование нагрузки	Единицы измерения	Нормат. нагрузка	Коэф. Перегрузки	Расчет. нагрузка
Постоянные нагрузки (определены при обследовании по фактическому обмеру)					
1	Металлический лист $\delta = 8 \text{ мм}$	кг/м ²	62,8	1,05	65,94
2	Рубероид 3 слоя	кг/м ²	25	1,3	32,5
3	Плиты железобетонные ребристые	кг/м ²	180,0	1,1	198,0
	Итого:	кг/м ²	267,8		296,44
Временные нагрузки					
	Снег для IV района	кг/м ²	150		240
	Пыль	кг/м ²	50	1,2	60
	Итого:	кг/м ²	200		300
	Всего:	кг/м ²	467,8		596,44

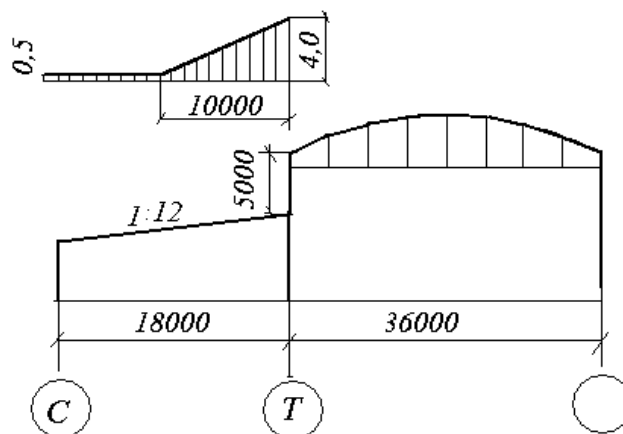


Рис. 2. Профиль покрытия и схема снеговой нагрузки в осях С - Т

Для ферм по осям 74-84 в узлах № 4, 20, 5, 22 в расчете дополнительно к снеговому мешку учтена полезная нагрузка от оборудования на кровле (нормативная нагрузка -270 кг/м^2 , расчетная нагрузка 297 кг/м^2),

$$P_{\text{полез}}^{20,5,22} = q \cdot B \cdot l_{\text{пан}} = 0,5 \cdot 297 \cdot 6 \cdot 1,5 = 2673 \text{ кг}$$

$$P_{\text{полез}}^4 = 0,5 \cdot q \cdot B \cdot l_{\text{пан}} = 0,5 \cdot 297 \cdot 6 \cdot 1,5 = 1336,5 \text{ кг}$$

Статический расчет произведен с использованием программного комплекса SCAD версия 7.29 (Система для прочностных расчетов и анализа строительных конструкций методом конечных элементов). Результаты расчета представлены на рисунке 3.

В результате проверочного расчета элемента верхнего пояса (тавровое сечение из двух уголков $100 \times 150 \times 12$) (узлы 11-24) выявлен коэффициент использования $0,739889$ (устойчивость элемента в плоскости фермы), нижнего пояса (тавровое сечение из двух уголков $120 \times 120 \times 10$) выявлен коэффициент использования $0,716953$ (прочность элемента); восходящего раскоса (узлы 8-19) (уголки $100 \times 100 \times 10$) – коэффициент использования $0,888986$ (прочность элемента); стойки (узлы 6-7) тавровое сечение из двух уголков $65 \times 65 \times 6$ – коэффициент использования – $0,995314$ (устойчивость элемента в плоскости фермы).

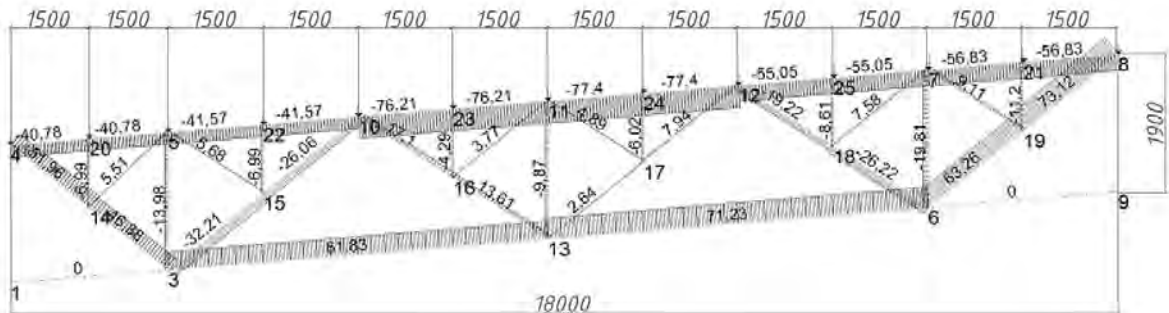


Рис. 3. Нумерации узлов фермы. Эпюра продольных сил в элементах фермы

Наибольшее напряжение в элементах фермы возникает в соответствии с эпюрами усилий N и размерами площадей сечения в стержне 6-7.

Произведем проверочный расчет стойки 6-7.

Расчетное усилие $N = 198,1 \text{ кН}$, площадь поперечного сечения $A = 15,04 \text{ см}^2$, минимальный радиус инерции сечения $i_x = 1,992 \text{ см}$, длина элемента $1,9 \text{ м}$.

Расчетное сопротивление стали (по проекту) $R_y = 230 \text{ МПа}$.

Коэффициент надежности по ответственности здания $\gamma_n = 1,0$ [6], коэффициент условий работы конструкции $\gamma_c = 0,8$ [7].

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i_x} = (0,8 \cdot 1,9) / 0,01992 = 76,32, \quad \bar{\lambda} = \lambda \sqrt{R_y / E} = 76,32 \sqrt{225 / 2,06 \cdot 10^5} = 2,52,$$

$$\varphi = 0,65 [7].$$

$$\sigma = \frac{\gamma_n \cdot N}{\varphi \cdot A} = \frac{1,0 \cdot 198,1}{0,65 \cdot 15,04} = 202,6 \text{ МПа} > R_y \cdot \gamma_c = 230 \cdot 0,8 = 184 \text{ МПа}$$

По результатам измерения твердости имеем множество значений пределов текучести металла $\sigma_T = \{300; 306; 287; 268; 261\}$ МПа.

Проведем обработку данных:

$$a_\sigma = 0,5(261 + 306) = 283,5 \text{ МПа} ;$$

$$b_\sigma = 0,5(306 - 261) / \sqrt{-\ln 0,2} = 17,73 \text{ МПа} ;$$

так как $\sigma = 202,6 \text{ МПа} < a_\sigma = 283,5 \text{ МПа}$, то $R=1$, возможность отказа $Q = \exp\left\{-\left[(202,6 - 283,5)/17,73\right]^2\right\} = \exp\{-20,8\} = 9,3 \cdot 10^{-9}$.

Необходимость безотказной работы $N = 1 - Q = 1 - 9,3 \cdot 10^{-9} = 0,999999999$.

Стропильная ферма характеризуется высокой надежностью, т.е. интервалом $[1; 0,999999999]$.

1. Плотникова, О.С. Определение остаточной несущей способности и надежности металлической балки / О.С. Плотникова, В.С. Уткин // Металлические конструкции, Украина, Донецк, 2006, том 9, №1. – С. 14–18.

2. Плотникова, О.С. Экспериментально–теоретическое определение несущей способности и надежности металлической фермы / О.С. Плотникова, В.С. Уткин // Международная научно-практическая конференция «Наука и инновации в современном строительстве–2007», С.Петербург, 2007. – С. 167–171.

3. Плотникова О.С. Оценка надежности конструкций при неполной статистической информации / О.С. Плотникова, В.С. Уткин // Вестник НовГУ. – 2005. – №34. – С.118 – 121.

4. Уткин, В.С. Значение уровня риска в теории возможностей // Строительные материалы. – 2004. – №8. – С.35.

5. СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*;

6. ГОСТ 27751-2014 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения: Введ. с 01. 07ю 2015. – М.: ЦНИИСК им. Кучеренко, 2016. – 22с.

7. Свод правил СП 16.13330.2011. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*: Введ. 20.05.2011. – М.: ЦНИИСК им. Кучеренко, 2011. – 143с.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КЛЕЕМЕХАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В МАЛОЭТАЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Г.А. Полюшкин

*Научный руководитель В.М. Механиков, канд. техн. наук, доцент
Вологодский государственный университет
г. Вологда*

Клеемеханические соединения – это соединения клеевые с гвоздевой за-прессовкой, в которых главную работу на сдвиг выполняет клей, а гвозди, как нагели, работающие на изгиб при сдвиге в соединении, включатся в аварийную работу при отказе – разрушении клея.

Применение клеємеханических соединений построечного изготовления вызвано:

- отсутствием индустриальной базы (отсутствие спроса на серийные конструкции);
- малыми объемами промышленного производства и значительной удаленностью его от мест строительства;
- большим разбросом размеров – длин балок и малыми объемами промышленного изготовления;
- повышением требований заказчика: по комфорту, теплотехнике, отделке;
- необходимостью применения местных строительных материалов: древесины – пиломатериалов наиболее распространенных сечений 50х150 (100, 175);

Преимущества построечного использования клеевого соединения с за-прессовкой гвоздями:

- большие объемы создаваемой продукции в одночасье, повсеместно, без капиталовложений;
- не требуется высококвалифицированная рабочая сила – легкость монтажа;
- не требуется дорогостоящая грузоподъемная техника;
- не требуется специальный транспорт по доставке;
- не требуются большие площади для изготовления и складирования;
- применение пиломатериалов недефицитных сечений;
- возможности конструкций – пролеты до 9м;
- минимальные сроки установки;
- снижение стоимости строительства.

Для обоснования вышеизложенного выполнен расчет жесткостных геометрических характеристик двутавровых сечений балок индустриального изготовления «intercity» из поясов, выполненных из досок до острожки 50х100 и

стенок из OSB-3 (рис.1 а, б.) и балок построечного изготовления из досок без острожки (рис.1 в, г, д) (таблица п. 3). Для балок «intercity» – комбинированного сечения расчет велся по методу приведенного сечения [1], при $E_d = 10000 \text{ МПа}$, $E_c = 3500 \text{ МПа}$.

$$I_{\text{пр}} = I_d + I_c \cdot E_c / E_d.$$

Сравним предложенные варианты балок по основным критериям для малоэтажного деревянного строительства по действующим нормативам: по прочности и прогибам [1], по зыбкости [2], по трудозатратам [3] и стоимости.

Прочностные показатели балок определялись по расчетным схемам однопролетной балки, с шарнирным опиранием, на действие равномерно распределенной нагрузки (при расчетной нагрузке на перекрытие – 3 кН/м^2 , а нормативной – $2,5 \text{ кН/м}^2$) при расчете на прочность и прогиб (рис. 2, а), на действие сосредоточенной силы $0,6 \text{ кН}$ при расчете на зыбкость (рис. 2, б). Шаг промышленных балок – $0,6 \text{ м}$, построечных балок – $1,2 \text{ м}$.

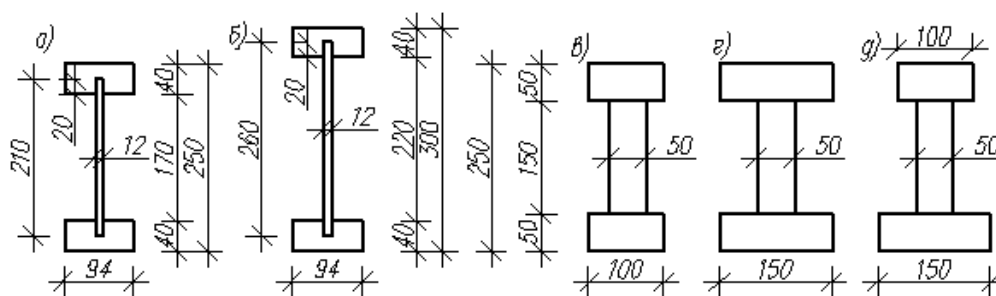


Рис. 1. Сечения двутавровых балок: Intercity высотой 250 и 300 мм (а,б), построечного изготовления (в, г, д)

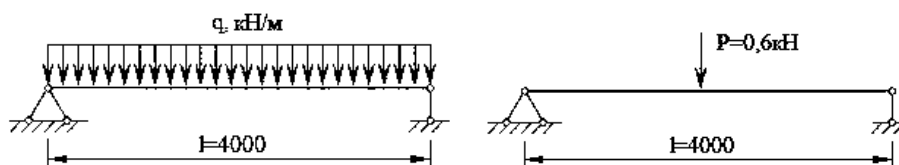


Рис. 2. Расчетные схемы балки при расчете:
а) на прочность и прогиб; б) на зыбкость

Результаты сравнения технико-экономических показателей различных видов сечения двутавровых деревянных балок приведены в таблице.

**Сравнение технико-экономических показателей
деревянных двутавровых балок**

Поз.	Конструкция балки:	комбинированная /intercity		клеемеханическая построечная		
	Высота балки, мм	250	300	250	250	250
	Показатели					
1	материал стенки (в мм)	OSB3 12		хвоя 2с 50х150		
2	пояса (до острожки), мм	50х100	50х100	50х100	верх 50х100 низ 50х150	50х150
3	I – момент инерции, см ⁴	8563	12826	11615	13854	16718
4	q_n – нормативная нагрузка, кН/м q – расчетная нагрузка, кН/м	<u>1,5</u> 1,8	<u>1,5</u> 1,8	<u>3,0</u> 3,6	<u>3,0</u> 3,6	<u>3,0</u> 3,6
5	растягив. напряжение в нижнем поясе, Мпа % использования (от расчет. сопротивления.)	<u>5,3</u> 53	<u>4,2</u> 42	<u>7,7</u> 77	<u>6,5</u> 65	<u>5,4</u> 54
6	прогиб от норматив нагрузки, мм относительный прогиб	<u>0,58</u> 1/670	<u>0,39</u> 1/1025	<u>0,87</u> 1/460	<u>0,72</u> 1/554	<u>0,59</u> 1/670
7	зыбкость при сосредоточ. нагр. 0.6 Кн, мм отношение к допустимой зыбкости равной 0.5мм	<u>0,92</u> 1,84	<u>0,61</u> 1,23	<u>0,68</u> 1,36	<u>0,57</u> 1,14	<u>0,47</u> 0,44
8	стоимость балки, руб./м.п. с доставкой или изготовлением, руб./м.п.	<u>260</u> 310	<u>275</u> 325	<u>139</u> 200	<u>157</u> 217	<u>175</u> 235
9	Стоимость комплект балок на 100м ² перекр., руб.	54560	57200	17600	19096	20680
10	Трудозатраты (монтаж балок), чел- ч(руб.)/100м ²	23(4600)	23(4600)	11(2200)	11(2200)	11(2200)
11	Стоимость балок с монтажом, руб. /100м ² перекр.	59160	61800	19800	21296	22880

Исходя из полученных результатов (таблица) видно, что все балки имеют значительный запас по прочности и прогибам. Комбинированные балки, собирающие нагрузку с меньшей грузовой площади (шаг 0,6 м), имеют запас по прочности 48 – 58 %, а по прогибу 250 – 400 %, при этом по показателям зыбкости не проходят, превышение составляет 23-84%. Балки построечного изготовления при увеличенной, по сравнению с комбинированными, в два раза грузовой площади (шаг 1,2 м) имеют запас по прочности 23 – 46%, по прогибу 180 – 250 %, а зыбкость имеют близкую к допустимой (с превышением 36 – 14% (рис.1, в, г)) и зыбкость с запасом 6 % (рис. 1, д). Из данных сравнений можно сказать, что по основным прочностным показателям с учетом

требований по зыбкости, наиболее подходят балки построечного изготовления с верхним поясом сечением 50х100 и нижним поясом сечением 50х150.

Наряду с высокими прочностными и жесткостными характеристиками клеомеханические балки построечного изготовления имеют значительные технологические и стоимостные преимущества, связанные с уменьшением в два раза количества монтируемых элементов, стыков и швов, что выражается в снижении трудозатрат при монтаже в 2,1 раза (таблица, п. 10), а стоимости комплекта балок для устройства 100м² перекрытия с учетом доставки с места изготовления и монтажа в 2.9 раза.

1. Свод правил: СП 64.13330.2016. Деревянные конструкции: актуал. редакция СНиП II-25-80 –М:2016-103 с.

2. Руководство по проектированию конструкций деревянных панельных жилых домов. М.: Стройиздат. 1984 – 80 с.

3. ЕНиР Сборник 6. Плотничные и столярные работы в зданиях и сооружениях. М.: Стройиздат. 1987 – 54 с.

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВОЗВЕДЕНИЯ ФУНДАМЕНТОВ В МАЛОЭТАЖНОМ ДОМОСТРОЕНИИ

С.С. Рябцев

*Научный руководитель **В.М. Механиков**, канд. техн. наук, доцент
Вологодский государственный университет
г. Вологда*

Целью данной работы является рассмотрение вопроса ресурсосбережения фундаментов в малоэтажном домостроении, дана информация о преимуществах и недостатках фундамента по технологии утепленной шведской плиты, рассмотрены варианты утепления и мостики холода фундаментов.

На сегодняшний день во многих городах России индивидуальная застройка занимает значительные площади селитебной территории, в крупных городах достигает 40-50% [1]. Актуальным вопросом в малоэтажном домостроении является ресурсосбережение при устройстве фундаментов, которое способно повысить конкурентоспособность производителя за счет оптимизации затрат и уменьшения себестоимости, а также снизить затраты на отопление здания в процессе эксплуатации, путем повышения тепловой защиты, применяя энергоэффективные материалы.

В настоящее время во многих областях Европейской части России на мелкозаглубленных фундаментах построено свыше 1500 одно- и двухэтажных зданий из различных материалов. Систематические инструментальные на-

блюдения за зданиями в течение 3-6 лет свидетельствуют о надежной работе фундаментов. Применение таких фундаментов вместо традиционных, закладываемых ниже глубины промерзания грунтов, позволило сократить: расход бетона на 50-80%, трудозатраты – на 40-70% [2].

При устройстве фундамента малоэтажного здания с низким энергопотреблением целесообразно использовать технологию утепленной шведской плиты (УШП). Конструкция представлена на рисунке 1.

Данная технология позволяет выполнить неразрывной подземный слой теплоизоляции для того, чтобы снизить теплопотери и воздействия сил морозного пучения (на зону фундамента приходится до 10-15% всех теплопотерь). При возведении мелкозаглубленного фундамента УШП возможно значительно снизить финансовые и трудовые затраты, сократить сроки строительства по сравнению с классическими вариантами фундаментов. Система дренажа, размещенная ниже уровня самого фундамента, защищает конструкцию от воздействия грунтовых вод, которые могут привести к образованию трещин и разрушению. В основании используется пенополистирол, помимо теплоизоляции он будет выполнять функцию опалубки, что позволяет дополнительно уменьшить время и сэкономить средства на строительстве.

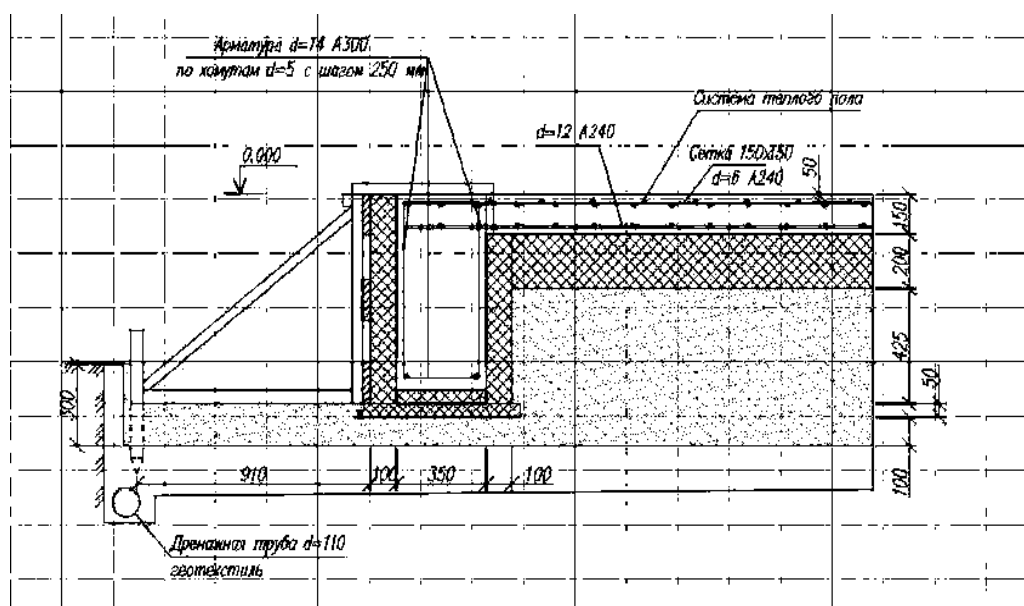


Рис. 1. Конструкция УШП

Монтаж утеплителя производится горизонтально по всей площади и вертикально по краям будущей плиты. Если раньше использовали преимущественно экструдированный пенополистирол, то сейчас все чаще применяют ПСБ-С плотных марок, поскольку его теплотехнические и другие физические характеристики, а также стоимость более привлекательны [3]. После возведения опалубки устанавливается арматура и монтируется инженерное оборудование (система тёплого пола, система водопровода и канализации, система электроснабжения). Далее заливается плита, которая будет аккумулировать

тепло, выполняя функцию большой батареи, обеспечивающей равномерное прогревание воздуха во всем внутреннем объеме здания. Расход бетона значительно меньше, по сравнению с обычным плитным фундаментом.

В данной технологии главную роль выполняет пенополистирол, который, в отличие от других типов утеплителей, способен сохранять свою несущую способность на протяжении всего жизненного цикла здания. Это подтверждено не только лабораторными испытаниями, но и длительным практическим опытом применения материала в строительстве [3]. Утеплитель способен работать во влажных условиях без изменения своих теплоизоляционных свойств.

К недостаткам УШП можно отнести такие факторы, как повышенные требования к используемым материалам, технике и квалифицированным рабочим; на неровных участках, с большим перепадом высот, необходимо предварительно выполнить площадку под фундамент; при использовании такой технологии невозможно строительство подвала; все коммуникации проведены внутри фундамента и ремонт, при аварийной ситуации, затруднён.

Мостики холода оказывают большое влияние на теплотехнические характеристики ограждающих конструкций и способствуют увеличению теплопотерь здания. Основным мостиком холода является понижение температуры на внутренней поверхности ограждений, примыкающих к проблемной области. Кроме увеличения теплопотерь здания, мостики холода повышают вероятность образования конденсата на внутренней поверхности ограждений, что приводит к возникновению плесени. Также разница в температурных режимах может явиться причиной возникновения разрушения конструкций. На рисунке 2 показаны типичные мостики холода.

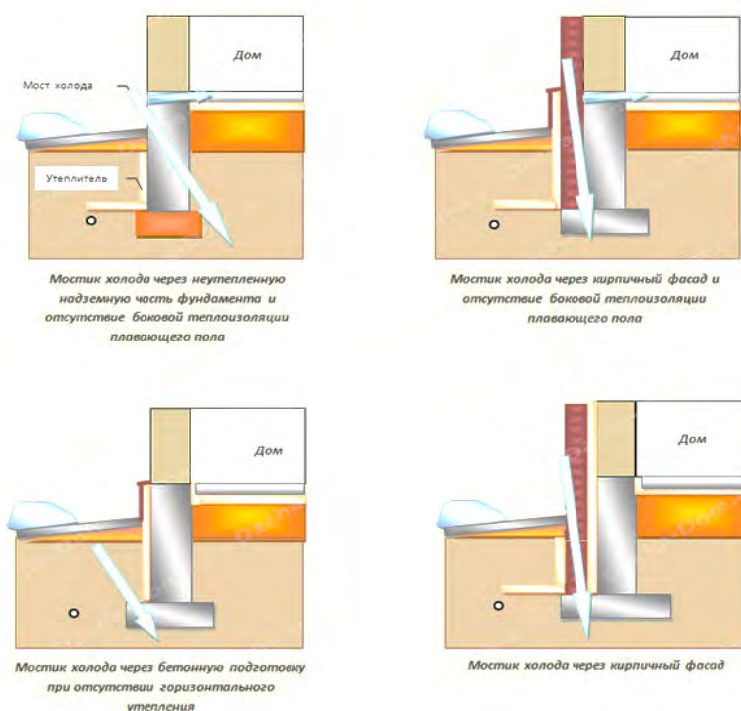


Рис. 2. Ошибки утепления фундаментов и мостики холода

Обеспечение минимальных затрат при возведении фундамента технологическими и экономическими методами, направленными на рациональное использование и экономное расходование ресурсов, дает возможность судить о больших перспективах малоэтажного домостроения.

1. Черешнев И.В. Журнал «Технологии Строительства» 1-2, 2014 [Электронный ресурс]. – Условия доступа: <http://ardexpert.ru/article/147>

2. Жуков А.Д. Эффективные фундаменты на проблемных грунтах: Практическое пособие / Жуков А.Д. Фундаменты: подготовка, устройство, технологии. – М.: Познавательная книга, 2011 – 256с.:илл. – (Серия «Советы мастера») ISBN978-5-904515-02-7

3. Ермолова Е.В. Ресурсосбережение в проектировании фундаментов. Ресурсосберегающие технологии, материалы и конструкции: материалы научно-практической конференции (17 апреля 2013 г.) / ПетрГУ. – Петрозаводск: Издво ПетрГУ, 2013. 168 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕТРОВОЙ НАГРУЗКИ НА ВЫСОТНЫЕ ЗДАНИЯ

Н.А. Сверчкова

Научный руководитель И.С. Казакова, канд. техн. наук, доцент

Вологодский государственный университет

г. Вологда

В настоящее время высотное строительство стало неотъемлемым элементом архитектурно-строительной культуры и модернизации крупнейших городов мира. При возведении высотных сооружений высокий уровень ответственности вызывает необходимость проводить ряд дополнительных мероприятий при проектировании, строительстве и эксплуатации. Действующие строительные нормы не содержат достаточных рекомендаций по проектированию оригинальных по форме и крупногабаритных сооружений, в том числе, и для большинства высотных зданий. Для каждого высотного сооружения требуется разработка специальных технических условий, что обуславливает удорожание строительства.

Ветровая нагрузка для многоэтажных зданий является наиболее существенной из временных нагрузок. Это вызвано тем, что использование в высотном строительстве стальных и облегченных железобетонных конструкций привело к снижению веса сооружения и сняло ограничения на высоту зданий. С другой стороны, снижение постоянных нагрузок и создание больших, более гибких пространственных решений, привело к значительному снижению жесткости здания. В этих условиях ветровые нагрузки приобрели особое значение.

Таким образом, моделирование и расчет ветровой нагрузки является целью исследования. Задачи данной работы включают: анализ ветровых нагрузений по различным нормативным документам [1], [2], [3], подбор формы здания из представленных.

Анализ ветровой нагрузки является многофакторным. В исследовании учитывался тип местности, конструкции и материалы здания, учитывалась статическая и пульсационная составляющая ветровой нагрузки. В работе исследовались две формы здания – цилиндрическая и восьмигранная в плане. Модели здания представлены на рисунке. Ветровое воздействие генерировалось на здания одинаковой высоты 100 м, диаметром в осях 30 м. Здание запроектировано в монолитном исполнении с продольными и поперечными несущими стенами из бетона класса В25. Конструкция всего здания опирается на плитный фундамент. С помощью компьютерного моделирования в программе Robot Structural Analysis Professional созданы расчетные модели зданий.

По нормам [1] средняя составляющая ветровой нагрузки определяется по формуле (1):

$$w_m = w_0 k(z_e) c \quad (1)$$

где w_0 – нормативное, значение ветрового давления; $k(z_e)$ – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления для высоты z_e ; c – аэродинамический коэффициент.

По нормам [2] для определения ветрового давления на высотное здание используется формула (2):

$$W = W_e - W_i = q_p(z_e) c_{pe} - q_p(z_i) c_{pi} \quad (2)$$

где $q_p(z_e)$ – пиковое значение скоростного напора ветра; c_{pe} – аэродинамический коэффициент внешнего давления; $q_p(z_i)$ – пиковое значение скоростного напора ветра; c_{pi} – аэродинамический коэффициент внутреннего давления

По нормам [3] для определения ветровой нагрузки на высотное здание используем формулу (3):

$$P = q(Gc_p) - q_i(Gc_{pi}) \quad (3)$$

где q , q_i – коэффициент, учитывающий изменение давления ветра по высоте; Gc_p – коэффициент наружного давления ветра на стену; Gc_{pi} – коэффициент внутреннего давления;

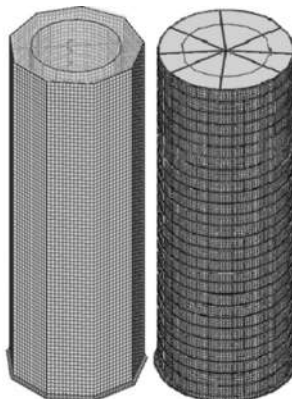


Рис. Модели здания, решенные методом конечных элементов

Учитывая введенные параметры вычисления, производится расчет ветрового нагружения в виде статической и пульсационной составляющих. По нормам [1] нормативное значение пульсационной составляющей находим по п. 11.1.8 по формуле 11.5. По нормам [2] усилие, действующее на внешнюю и на внутреннюю поверхность здания находится по п. 5.3 по формулам 5.5 и 5.6 соответственно. Пульсационная составляющая по нормам [3] находится по п. 6.5.13, формула 6-25.

Расчетные аэродинамические коэффициенты и коэффициенты высоты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Нормативные документы	Аэродинамический коэффициент		Коэффициент высоты	
	Восьмигранная форма	Цилиндрическая форма	Восьмигранная форма	Цилиндрическая форма
СП 20-13330-2011	1.5	1.3	2	
EN 1991-1-4-2009	1.1	0.8	1.5	
ASCE Standard 7-05	1.07	0.74	1.43	

Ветровые воздействия назначаются в двух направлениях x и y , относительно здания, для подбора наиболее неблагоприятных условий (табл.2).

Таблица 2

Параметры ветровой нагрузки

Параметры	СП 20-13330-2011	EN 1991-1-4-2009	ASCE Standard 7-05
Тип местности	A	I	D
Высота над уровнем моря, м	0		
Базовая скорость ветра, м/с	24	24	24 (53,69 миль/час)
Категория сооружения по степени ответственности	I	II	III
Коэффициент демпфирования	0.104		

Учитывая введенные параметры вычисления, производится расчет ветрового нагружения в виде статической и пульсационной составляющих. Вследствии пульсационной составляющей ветра проектируемое здание вынужденно колебаться с некоторой частотой (табл. 3).

Таблица 3

**Частоты (коэффициенты динамичности)
первой и второй форм колебаний, Гц**

Нормативные доку- менты	Первая форма колебаний		Вторая форма колебаний	
	Восьмигранная форма	Цилиндрическая форма	Восьмигранная форма	Цилиндриче- ская форма
СП 20-13330-2011	0.26(2.11)	0.29(2.09)	0.30(2.05)	0.33(2.01)
EN 1991-1-4-2009	0.30(1.177)	0.31(1.166)	0.34(1.165)	0.36(1.149)
ASCE Standard 7-05	0.32(1.41)	0.33(1.131)	0.36(1.115)	0.38(1.106)

Горизонтальные перемещения представлены на диаграмме (рис.).

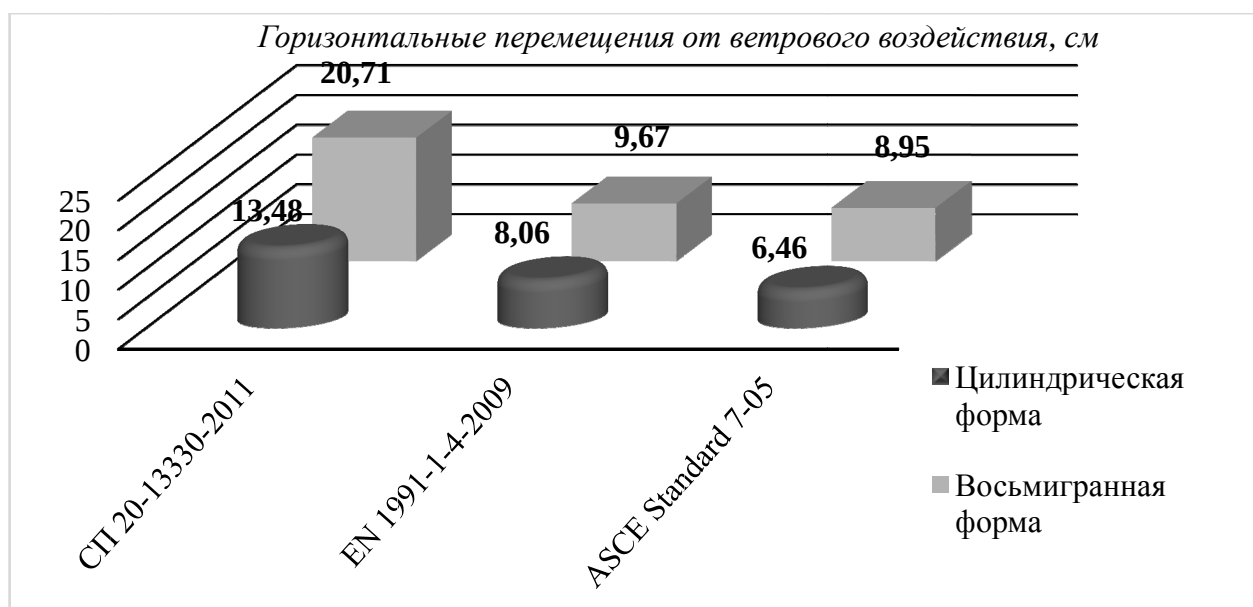


Рис. Диаграмма. Перемещения от ветровой нагрузки

Для зданий сложной конфигурации необходимо проводить специальные расчеты ветрового давления, ускорений, ветровых колебаний для обеспечения комфортности людей внутри зданий. В данной работе по результатам исследования установлено, что из рассмотренных вариантов форм здания предпочтительнее является цилиндрическая. Наибольшие перемещения получаются при расчете по российским нормам [1]. По сравнению с ними перемещения по нормам [2] в 1.67 раза ниже для цилиндрической формы и в 2.09 для восьмигранной. По нормативным документам [3] в 2.14 раз ниже для цилиндрической формы и в 2.31 для восьмигранной. Различия обусловлены разной градацией типов местности, различными значениями аэродинамических коэффициентов, коэффициентов динамичности и коэффициентов высоты. Необходимо

дополнительное изучение влияния окружающей застройки на высотное здание, влияния неоднородности воздушного потока по влажности, запыленности, температуре.

1. Нагрузки и воздействия: СП 20-13330-2011. Свод правил. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* [Электронный ресурс]: утв. Мин-вом регионального развития РФ 27.12.2010: введ. 20.05.2011 //Техэксперт: инф.-справ. Система /Консорциум «Кодекс».

2. Еврокод 1 ВОЗДЕЙСТВИЯ НА КОНСТРУКЦИИ Часть 1-4. Общие воздействия. Ветровые воздействия. ТКП EN 1991-1-4-2009. Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь Минск 2010

3. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. American Society of Civil Engineers, ASCE Standard 7-05.

РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК ПРИ НАЛИЧИИ СЕРИИ НОРМАЛЬНЫХ ТРЕЩИН

С.А. Соловьев

*Научный руководитель **В.С. Уткин**, д-р техн. наук, профессор*

Вологодский государственный университет

г. Вологда

В 2010 г. в Российской Федерации вступил в силу Закон №384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», согласно которому, механическая безопасность – это такое состояние строительных конструкций, при котором отсутствует недопустимый риск причинения вреда жизни и здоровья граждан. Согласно европейскому стандарту Eurocode 0 «Basis of structural design», надежность – способность сооружения или конструктивного элемента выполнять требуемые функции в течение расчетного срока эксплуатации, обычно выраженная в вероятностных показателях. Основные принципы обеспечения и расчета строительных конструкций на надежность регулируются европейским стандартом EN 1990-2002 «Basis of structural design» и Международным стандартом ISO 2394:2015 «General principles on reliability of structures». В Российской Федерации основные принципы надежности строительных конструкций регулирует Межгосударственный стандарт ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований», введенный в действие с 01.06.2015.

Аварии строительных конструкций, в т. ч. железобетонных балок и плит, по всему миру свидетельствуют об отсутствии методов и методик для расчетов надежности (безопасности) строительных конструкций по некоторым критериям их работоспособности, на частичное устранение чего направ-

лена предлагаемая статья, а также о недостаточном внедрении методов расчета надежности строительных конструкций в практику при их обследовании. Так, в 2015 г. в Китае (г. Тяньцзинь) произошло обрушение железобетонной плиты перекрытия, в результате чего погибли 6 человек. В 2011 г. в России (г. Пушкин) при реконструкции обрушилась железобетонная стропильная балка в результате снижения несущей способности. Все это свидетельствует о необходимости разработки методов расчета оперативной надежности по всем критериям работоспособности несущих элементов строительных конструкций, в частности для железобетонных балок, для выявления возможности дальнейшей эксплуатации или необходимости их усиления или замены. В качестве меры надежности используется вероятность (или возможность) безотказной работы несущего элемента по всем критериям его работоспособности. В частности такими критериями применительно к железобетонным балкам являются прочность арматуры и бетона, жесткость (прогиб, угол поворота), трещинообразование и ширина раскрытия трещин. В данном исследовании рассмотрен метод расчета надежности железобетонной балки по критерию прочности рабочей арматуры при наличии нормальных к продольной оси балки трещин в растянутой зоне бетона балки.

В качестве математической модели предельного состояния принято условие:

$$\tilde{\sigma}_s \leq \tilde{\sigma}_{np,s}, \quad (1)$$

где $\tilde{\sigma}_s$ – напряжение в рабочей арматуре в сечении балки с трещиной, которое является случайной величиной, что отмечено волнистой линией над символом; $\tilde{\sigma}_{np,s}$ – предельное напряжение стали арматуры при растяжении, определяемое экспериментально по результатам испытаний образцов арматуры балки, число которых по [1] не менее двух.

В СП 63.13330. 2012 ширина раскрытия трещин определяется по формуле $a_{crc} = \sigma_s \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi_s l_s / E_s$. Предлагается использовать эту формулу для определения напряжения σ_s по результатам измерений ширины раскрытия трещин с учетом изменчивости контролируемых параметров. В этом случае σ_s определяется по формуле:

$$\tilde{\sigma}_s = \tilde{a}_{crc} E_s / \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \tilde{\psi}_s \tilde{l}_s, \quad (2)$$

обозначения параметров приведены в СП 63.13330.2012.

В работе [2] академик Н.И. Карпенко и др. предложили уточнить формулу (2), содержащуюся в СП 63.13330.2012, путем замены E_s секущим модулем упругости E_s^{sec} , который меньше нормативного значения $E_s = 2 \cdot 10^{11}$ Па. Значение E_s^{sec} при обследовании и расчете надежности железобетонных балок определяется по результатам испытаний [1] образцов из арматуры балки по диаграмме напряжений $\sigma - \varepsilon$ при средних значениях $\bar{\varepsilon}_s$ и $\bar{\sigma}'_s = \bar{\varepsilon}_s E_s^{\text{sec}}$, полученных при не менее двух испытаний образцов из арматуры балки и принима-

ется детерминированным в силу малого коэффициента вариации [3]. С учетом вышеизложенного математическую модель предельного состояния для расчета надежности примем в виде:

$$\tilde{a}_{crc} E_s^{\text{sec}} / \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \tilde{\psi}_s \tilde{l}_s \leq \tilde{\sigma}_{s,np}. \quad (3)$$

Рассмотрим расчет надежности железобетонной балки по математической модели (3) возможным методом с использованием принципа обобщения Л. Заде из теории нечетких множеств [4]. Нечеткие переменные в (3) будем описывать наиболее распространенной в расчетах надежности [5] функцией распределения возможностей $\pi_X(x)$, с аналитическим видом:

$$\pi_X(x) = \exp \left[- \left(\frac{x - a_x}{b_x} \right)^2 \right], \quad (4)$$

где $a_x = 0,5 \cdot (X_{\max} + X_{\min})$; $b_x = (X_{\max} - X_{\min}) / \sqrt{-\ln \alpha}$, $X_{\max}$ и $X_{\min}$ – наибольшее и наименьшее значение во множестве значений $\{x\}$, полученных из результатов измерений; $\alpha \in [0;1]$ – уровень среза (риска), значением которого задаются [5]. Обратная функция от $\pi_X(x)$ будет $x = a_x \pm b_x \sqrt{-\ln \alpha^*}$ или $x = a_x \pm b_x \beta$, где $\beta = \sqrt{-\ln \alpha^*}$.

Рассмотрим вариант с условием $a_{crc} > a_{crc,ult}$. В этом случае по СП коэффициент Мурашева ψ_s определяется из $\psi_s = 1 - 0,8 \frac{M_{crc}}{M}$ и примем его случайной величиной. Введем обозначения $\tilde{a}_{crc} = X$, $\tilde{l}_s = Y$, $\tilde{\sigma}_{np,s} = Z$, $\tilde{\psi}_s = T$, $\varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 / E_s^{\text{sec}} = k$. Представим (3) в виде:

$$X / Y \cdot Z \cdot T \leq k, \quad (5)$$

где k – детерминированная величина; X, Y, Z, T – нечеткими переменными.

Все нечеткие переменные в (5) будем описывать функциями распределения возможностей вида (4). В соответствии с принципом обобщения Л. Заде, формируем нечеткую функцию J от нечетких аргументов X, Y, Z, T из (5) в виде $J = X / Y \cdot Z \cdot T \leq k$. Нечеткая функция J характеризуется функцией распределения $\pi_J(j)$ с левой $j \leq \alpha_j$ и правой $j > \alpha_j$ ветвями, а обратная функция j от J будет определяться через обратные функции X, Y, Z, T . Для левой ветви:

$$j_{лев} = (a_x - b_x \beta) / (a_y + b_y \beta) (a_t + b_t \beta) (a_z + b_z \beta), \quad (6)$$

и для правой ветви

$$j_{np} = (a_x + b_x \beta) / (a_y - b_y \beta) (a_t - b_t \beta) (a_z - b_z \beta), \quad (7)$$

где $\beta = \sqrt{-\ln \pi_J(j)}$. Из (7) условное «среднее» $a_j = a_x / a_y a_z a_t$ и соответствует $\beta = 0$ или $\pi_J(j) = 1$. По (7) при выполнении $a_j \leq k$ значение возможности безотказной работы принимается $R=1$. Возможность отказа Q (для правой ветви функции $\pi_J(j)$) найдем по значению β , полученного из (10), принимая равенство из (7) для $j_{np} = k$. По результатам решения (7), при $j_{np} = k$ находят $\beta_{\min}$ по абсолютному значению и возможность отказа по критерию прочности арматуры $Q = \exp(-\beta_{\min}^2)$. Соответственно необходимость безотказной работы бал-

ки составит $N=1-Q$. Надежность железобетонной балки по критерию прочности рабочей арматуры характеризуется интервалом $[N; R=1]$ или в вероятностных показателях $[\underline{P}; \overline{P}]$, где $\underline{P}$ и $\overline{P}$ – нижнее и верхнее значение вероятности безотказной работы.

Пример. Пусть условно для железобетонной балки известны следующие значения: $a_{crc,ult} = 0,30$ мм; $E_s^{sec} = 2 \cdot 10^{10}$ Па; $\varphi_1 = 1,4$; $\varphi_2 = 0,5$; $\varphi_3 = 1$; $\tilde{a}_{crc} = \{0,36; 0,34; 0,35\}$ мм; $\tilde{l}_s = \{0,10; 0,12; 0,14\}$ м; $\tilde{\sigma}_{0,2} = \{270; 260; 280\}$ МПа; $\tilde{\psi}_s = \{0,69; 0,71; 0,70\}$. Определяем параметры: $a_x = 0,35$ мм; $a_y = 0,45$ м; $a_z = 270$ МПа; $a_t = 0,70$, $b_x = 0,012$ мм; $b_y = 0,023$ м; $b_z = 11,56$ МПа; $a_t = 0,012$ при $\alpha = 0,05$. Вычислим $k = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 / E_s = 3,5 \cdot 10^{-11}$ м²/Н, т.к. $a_j = a_x / a_y a_z a_t = 1,13 \cdot 10^{-11} \leq k = 3,5 \cdot 10^{-11}$ м²/Н, то возможность безотказной работы $R=1$. Из (10) для правой ветви $\pi_G(g)$ найдем $\beta_{min} = 3,05$. Тогда возможность отказа $Q = \exp[-(3,05)^2] = 0,00009$. Необходимость безотказной работы составит: $N=1-0,00009=0,99991$. Надежность железобетонной балки по критерию ширины раскрытия нормальных трещин характеризуется интервалом вероятностей $[0,99991; 1]$. Из примера видно, что даже при ширине раскрытия трещин больше нормативного значения равного $a_{crc,ult} = 0,3$ мм, вероятность безотказной работы балки по критерию прочности арматуры может быть выше, чем предельное значение, даже по $\underline{P}$, например при $P_{np} = 0,9995$. Это свидетельствует о том, что по одному критерию – ширине раскрытия трещин a_{crc} , и ее предельному значению нельзя $a_{crc,ult}$ оценить безопасность конструкции и принять адекватное решение о ее работоспособности. Кроме того, необходимо иметь в виду, что надежность железобетонной балки как механической системы находится по теореме умножения вероятностей как: $P = \prod_i^n P_i$, где P_i – вероятность безотказной работы балки по i -му критерию работоспособности балки.

1. Бедов А.И., Сапрыкин В.Ф. Обследование и реконструкция железобетонных и каменных конструкций эксплуатируемых здания и сооружений. М.: АСВ, 1995. 192 с.

2. Карпенко Н.И., Соколов Б.С., Радайкин О.В. К оценке прочности, жесткости, момента образования трещин и их раскрытия в зоне чистого изгиба железобетонных балок с применением нелинейной деформационной модели // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2015. №3. С. 5-12.

3. Аугусти Г., Баратта А., Кашиати Ф. Вероятностные методы в строительном проектировании. М.: Стройиздат, 1988. 584 с.

4. Zadeh L. A. Fuzzy sets // Information and Control. 1965. No. 3. pp. 338-353.

5. Уткин В.С., Соловьев С.А., Каберова А.А. Значение уровня среза (риска) при расчете надежности несущих элементов возможным методом // Строительная механика и расчет сооружений. 2015. №6. С. 63-67.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНОЙ СХЕМЫ МОНОЛИТНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО КАРКАСА ЗДАНИЯ ПРИ РАСЧЕТЕ НА ПРОГРЕССИРУЮЩЕЕ ОБРУШЕНИЕ

К.А. Тиханова

Научный руководитель Н.М. Дементьев, канд. техн. наук, доцент

Вологодский государственный университет

г. Вологда

В настоящее время все чаще в СМИ появляются новости, связанные с разрушением строительных конструкций, а затем и здания в целом либо его части. Причинами разрушения являются взрывы бытового газа, пожары, дефекты проектирования, неверные перепланировки, а также природные явления. Все это приводит к прогрессирующему обрушению.

Прогрессирующее обрушение обозначает последовательное разрушение несущих строительных конструкций здания, обусловленное начальным локальным повреждением отдельных несущих конструктивных элементов и приводящее к обрушению всего здания или его значительной части [1].

В нашей работе для исследования на прогрессирующее обрушение было выбрано двенадцатиэтажное здание из монолитного железобетонного каркаса.

Конструктивная схема включает в себя:

1) несущие монолитные железобетонные колонны, сечением 400х400 мм из бетона класса В25;

2) несущие диафрагмы жесткости по контуру лестнично-лифтового узла, а также дополнительные диафрагмы в количестве трех в продольном и поперечном направлении толщиной 160 мм из бетона класса В25;

3) конструкция перекрытий и покрытия – монолитные железобетонные плиты толщиной 180 мм из бетона класса В25.

Для зданий и сооружений каркасного типа колонны являются ключевыми элементами. Поэтому для исследования наиболее неблагоприятного локального разрушения было выбрано разрушение угловой колонны на первом этаже, а также разрушение средней колонны крайнего ряда первого этажа.

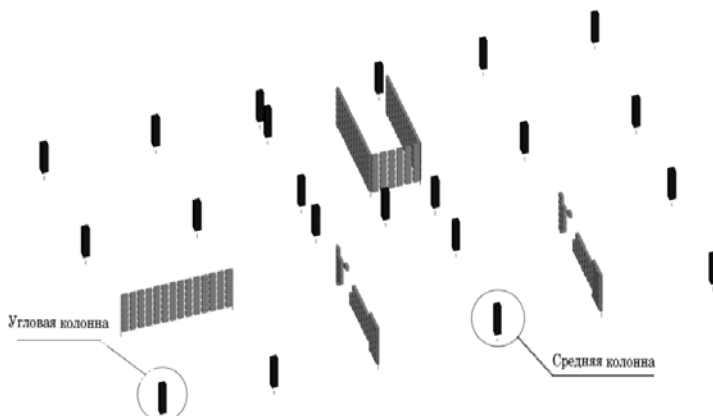


Рис. 1. Схема расположения удаляемых колонн

Расчет здания на прогрессирующее обрушение был выполнен в программном комплексе SCAD Office 11.5 в соответствии с нормативной литературой [2], [3].

Методика расчета:

- 1) статический расчет с целью определения напряженно-деформируемого состояния конструкции в нормальных условиях;
- 2) определение расчетных сочетаний усилий;
- 3) подбор арматуры с учетом первого и второго предельных состояний;
- 4) выбор удаляемого фрагмента конструкции;
- 5) составление комбинации загружений, в которую входят постоянные нагрузки и длительные временные нагрузки с коэффициентом 1;
- 6) назначение группы нагрузок, определяющей вес обрушившихся конструкций;
- 7) задаются коэффициенты динамичности для учета эффекта падения обрушившихся конструкций $K_g=2$ и для учета внезапности удаления элементов конструкции $K_f=2$;
- 8) задается значение интервала неопределенности.

Результаты расчета представлены на рисунке 2 в двухцветной цветовой шкале. Темно серым цветом выделены вышедшие из строя элементы. Их значение максимального по величине коэффициента использования ограничений $K_{\max} \geq 1$. Светло серым цветом выделены работающие элементы с $K_{\max} < 1$.

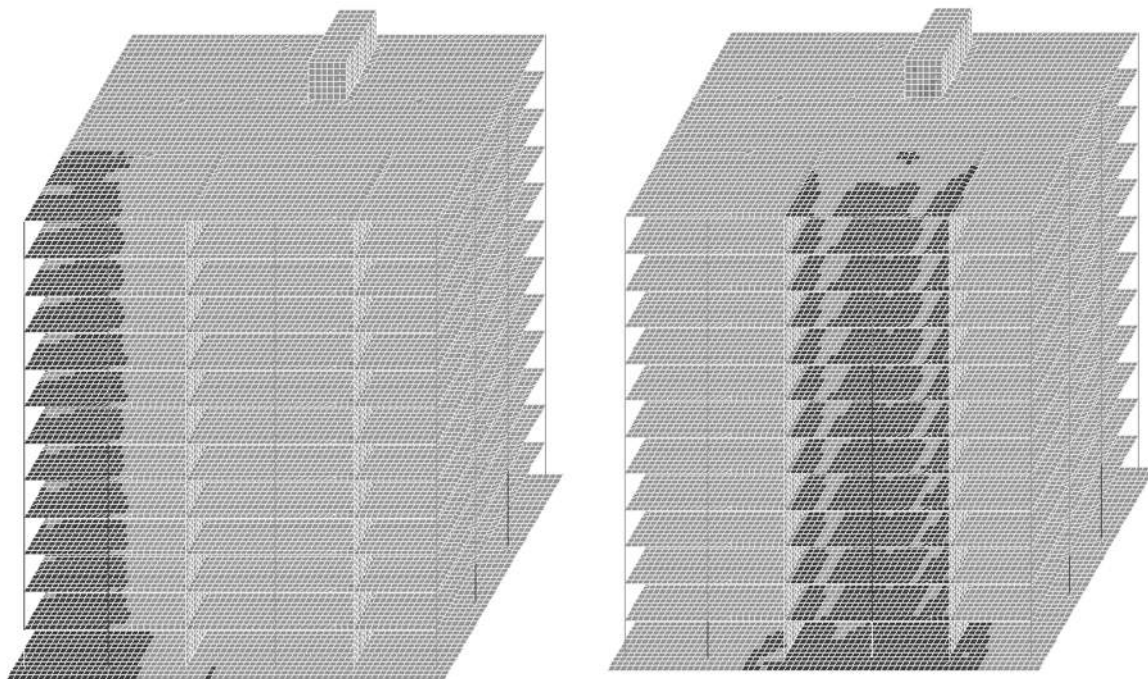


Рис. 2. Результаты расчета на прогрессирующее обрушение

В результате численного моделирования мы получаем качественную характеристику устойчивости конструкции по отношению к прогрессирующему обрушению и имеем возможность выявить слабые места конструкции при определенных сценариях обрушения.

Для повышения устойчивости здания от прогрессирующего разрушения можно применять жесткие блоки по высоте здания, которые могут исполнять роль технического этажа. Возможно использование балок в перекрытии, что также способствует снижению риска возникновения прогрессирующего обрушения.

1. СТО-008-02495342-2009. Стандарт организации. Предотвращение прогрессирующего обрушения железобетонных монолитных конструкций. Проектирование и расчет. – Введ. 07.09.2009г. – М.: ЦНИИПромданий, 2009. – 21с.

2. СП 20.13330.2011. Свод правил. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП II-01-85*: утв. Минрегион России 27.12.2010г. №787.- Введ. 20.05.2011г. – М.: Минрегион России, 2011. – 80с.

3. СП 52-101-2003. Свод правил по проектированию и строительству. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры: утв. Госстрой России 25.12.2003г. №215. – Введ. 01.03.2004. – М.: Госстрой России, 2004. – 142с.

ОПТИМИЗАЦИЯ СТЫКА КОЛОНН С ФУНДАМЕНТОМ В СТРОИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ «КУБ»

Д.И. Тугаринов

*Научный руководитель **Е.А. Кабанов**, канд. техн. наук, доцент
Вологодский государственный университет
г. Вологда*

В настоящее время строительная система «КУБ» представлена на строительном рынке г. Вологды.

Строительная система «КУБ» представляет собой сборно-монолитную систему с безбалочными, бескапительными перекрытиями, состоящую из железобетонных плит одинаковой толщины и колонн постоянного сечения. Монолитный железобетон при этом остается только в узлах, соединяющих различные элементы конструкции воедино.

Система «КУБ» берет свое начало в 60-х годах прошлого столетия, когда в ЦНИИЭП жилища под руководством А. Э. Дорфмана и Л. Н. Левонтина для высотной гостиницы во Владивостоке были разработаны конструкции безбалочного бескапительного перекрытия. Такой железобетонный каркас получил название «КУБ-1».

Таким образом, система «КУБ» является не новинкой, а уже проверенной десятилетиями технологией и она постоянно улучшается и дорабатывается. На сегодняшний день самой совершенной является система «КУБ-3V»,

разработанная в 2010 году и активно продвигаемая на территории России, а также на территории ближнего и дальнего зарубежья компанией ООО «СИСТЕМА СТРОЙ».

Каркас «КУБа» состоит из квадратных многоярусных колонн и плоских крупноразмерных плит. Их номенклатура включает надколонные, межколонные и средние плиты и диафрагмы жесткости (рисунок 1).

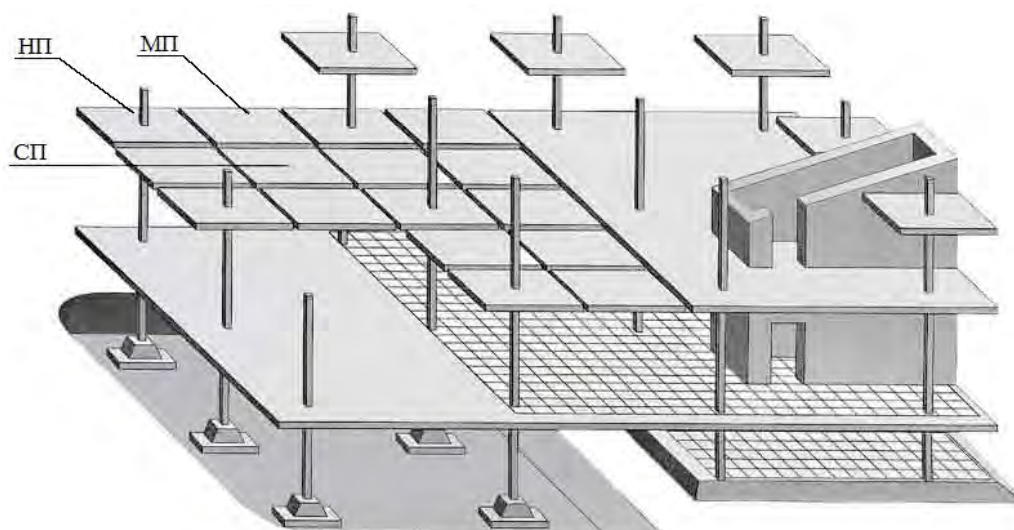


Рис. 1. Конструктивная схема строительной системы «КУБ»
НП – надколонная плита; МП – межколонная плита; СП – средняя плита

Размеры плит приняты из условия расположения их стыков в теоретической зоне минимальных изгибающих усилий (на расстоянии равном 0,25 от длины рабочего пролета). Для пропуска колонн через перекрытия и организации поэтажных стыков в надколонных плитах выполнены соответствующие отверстия.

Монтаж каркаса начинается с монтажа многоярусных колонн, которые могут быть высотой от 2-х этажей и выше. Колонны устанавливают в отдельно стоящие фундаменты стаканного типа или в подколонники на монолитной фундаментной плите.

Монтаж плит перекрытия производится в следующем порядке. Производится монтаж надколонных плит перекрытия, размером 3х3 метра, которые надевают на колонну, проходя вдоль направляющих пластин кондуктора (рисунок 2). Установленная надколонная плита прикрепляется к колонне с помощью сварки обечайки плиты с рабочей арматурой колонны, зазор между колонной и плитой заливается мелкозернистым бетоном. Следующими устанавливаются межколонные плиты перекрытия и в последнюю очередь – средние плиты.

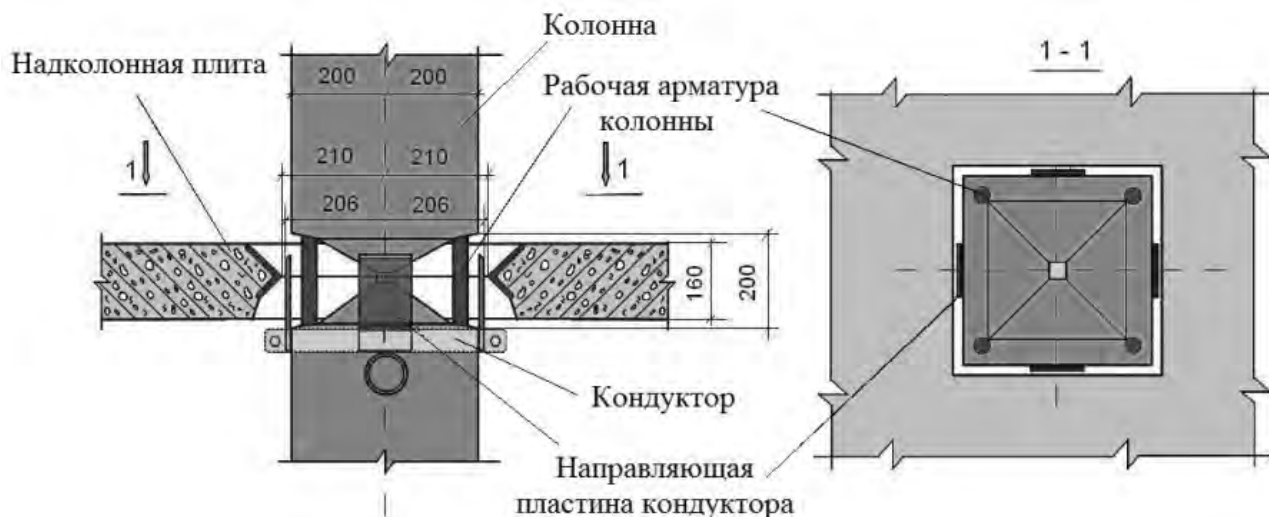


Рис. 2. Узел опирания надколонной плиты на колонну

Целью исследования является сравнение типового варианта узла стыка колонны с фундаментом через подколонник, применяемого в строительной системе «КУБ» (Рисунок 3), и нового варианта узла, в котором колонна соединяется с плитой фундамента через выпуски арматуры (Рисунок 4). Новый вариант узла даёт некоторую экономию в процессе устройства фундамента сооружения за счет упрощения опалубочных работ и бетонирования, а также за счет экономии бетона и арматуры, необходимых для устройства подстаканников. Но при этом увеличиваются затраты на устройство выпусков арматуры из фундаментной плиты, на опалубочные работы и бетонирование в узлах соединения плиты с колоннами, а также на изготовление нетиповой колонны.

В ходе проведения работы были рассчитаны и спроектированы выпуски арматуры и новая конструкция колонны, необходимые для прочного и жесткого соединения вертикальных элементов каркаса с фундаментной плитой без использования подстаканников.

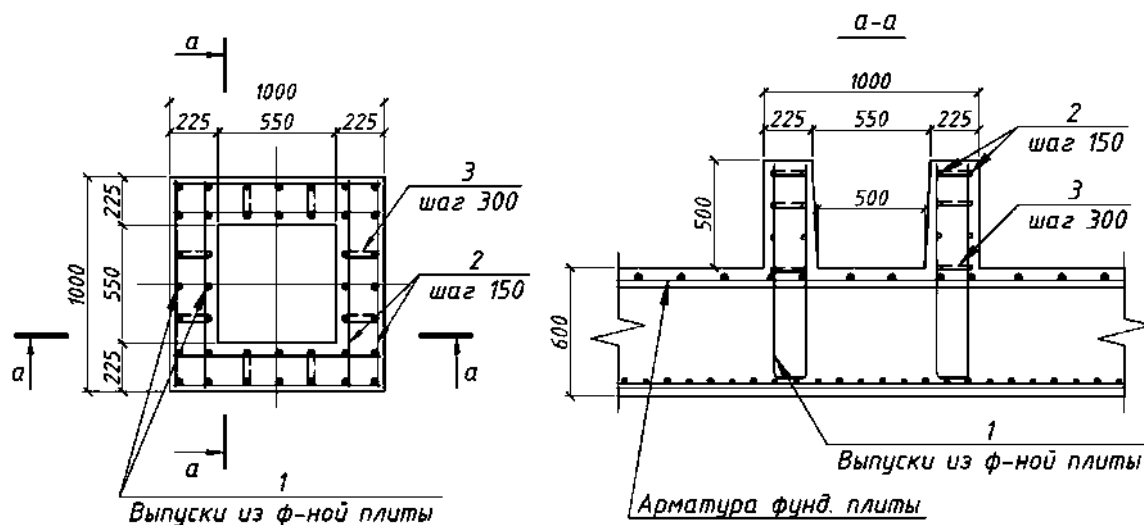


Рис. 3. Монолитный подколонник

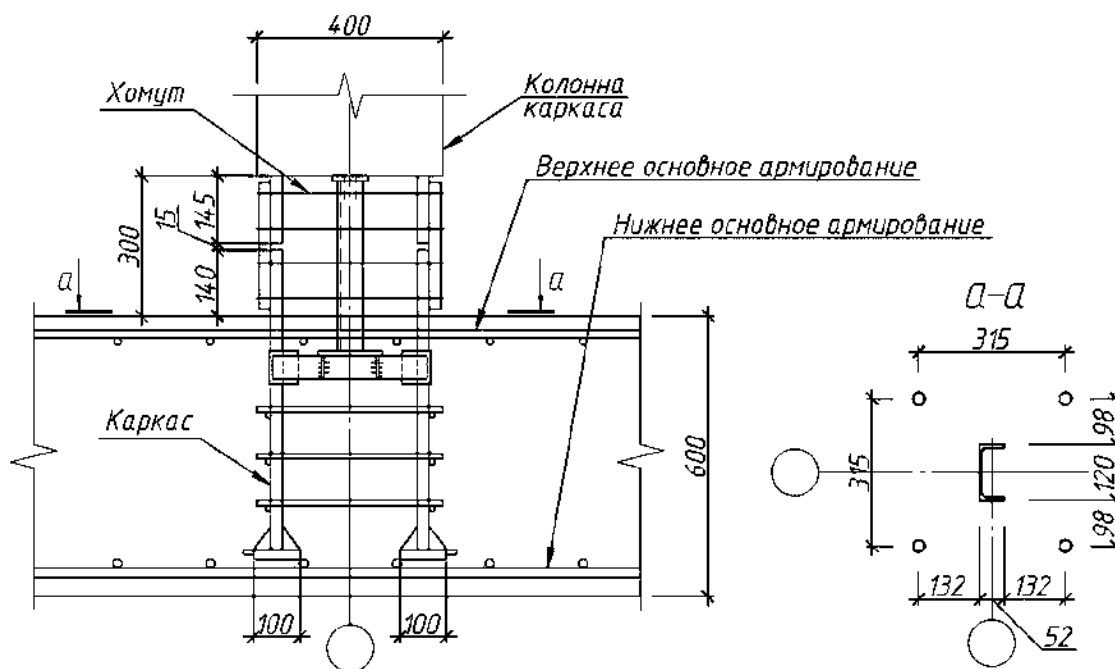


Рис. 4. Узел соединения колонны каркаса с фундаментной плитой через выпуски арматуры без подколонника

Рассмотрим экономию материалов от использования нового варианта узла на примере здания с размерами в осях 54x12 м и имеющего 32 колонны. За счет устранения монолитных подстаканников была получена экономия стали в размере 2820 кг и бетона в размере 19 м³. При этом часть сэкономленной стали было потрачено на устройство выпусков арматуры – 1080 кг. Также была получена дополнительная эксплуатируемая площадь цокольного этажа в размере 27 м².

Рассчитаем стоимость сэкономленных материалов и дополнительной площади на цокольном этаже. Экономия за счет уменьшения объема бетона класса В30 составляет:

$$5,98 \cdot 0,6545 \cdot 19 \cdot 1,18 = 87,75 \text{ тыс. руб.},$$

где 5,98 – расчетный индекс стоимости строительных материалов по отношению к базовым ценам на 01.01.2000 года по состоянию на II квартал 2016 года (без учета НДС);

0,6545 – сметная цена тяжелого бетона В30, взятая из территориального сборника сметных цен по Вологодской области, тыс. руб./м³;

19 – объем сэкономленного бетона, м³;

1,18 – коэффициент, учитывающий налог на добавленную стоимость (НДС) в размере 18%.

Стоимость сэкономленной арматуры составляет:

$$5,98 \cdot 11,4848 \cdot 1,74 \cdot 1,18 = 141 \text{ тыс. руб.},$$

где 11,4848 – сметная цена арматурной стали А500С, диаметром 10 мм, взятая из территориального сборника сметных цен по Вологодской области, тыс. руб./т;

1,74 – объем сэкономленной стали, т.

Исходя из средней стоимости 1 м² помещения цокольного этажа в г. Вологда, равной 15 тыс. руб., получим примерную стоимость освободившейся площади на цокольном этаже:

$$15 \cdot 27 = 405 \text{ тыс. руб.}$$

Таким образом, общая выгода от использования нового варианта узла оценивается в пределах 630 тыс. руб. для данного здания. Стоит отметить, что данная оценка произведена без учета изменения стоимости работ на возведение фундамента и устройство нового варианта стыка колонны с фундаментной плитой. Также без внимания осталось и удорожание производства новых колонн. Конечная же стоимость устройства нового варианта узла будет определена в дальнейшем, после обработки фактических затрат на реализацию данного решения в проекте.

1. СП 52-103-2007. Свод правил. Железобетонные монолитные конструкции зданий: утв. ФГУП «НИЦ «Строительство» 12.07.2007 № 123. – Введ. 12.07.2007. – М.: ФГУП «НИЦ «Строительство», 2007. – 22 с.

2. Руководство по проектированию плитных фундаментов каркасных зданий и сооружений башенного типа / НИИОСП им. Н.М. Герсевича. – М.: Стройиздат, 1984. – 263 с.

3. Великжанин, Г.М. Домостроительная система КУБ-3В (KUB-3V). – М.: ООО «СИСТЕМА СТРОЙ», 2010. – 60 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ НА ВНУТРЕННИХ НЕСУЩИХ СТЕНАХ ЖИЛЫХ ДОМОВ

Т.Н. Чекулаева

Научный руководитель Е.А. Кабанов, канд. техн. наук, доцент

Вологодский государственный университет

г. Вологда

Качество отделки покупаемого жилья постепенно улучшается, но иногда в домах появляются дефекты, не связанные с качеством отделочных работ, например, трещинообразование на внутренней поверхности стен жилых домов. Данная проблема может быть связана с тем, что люди приобретают жилье, вкладывая немалую сумму денег, а в итоге получают квартиры, где дефекты иногда появляются после проведения отделочных работ. В данной статье раскрывается вопрос о причинах появления трещин.

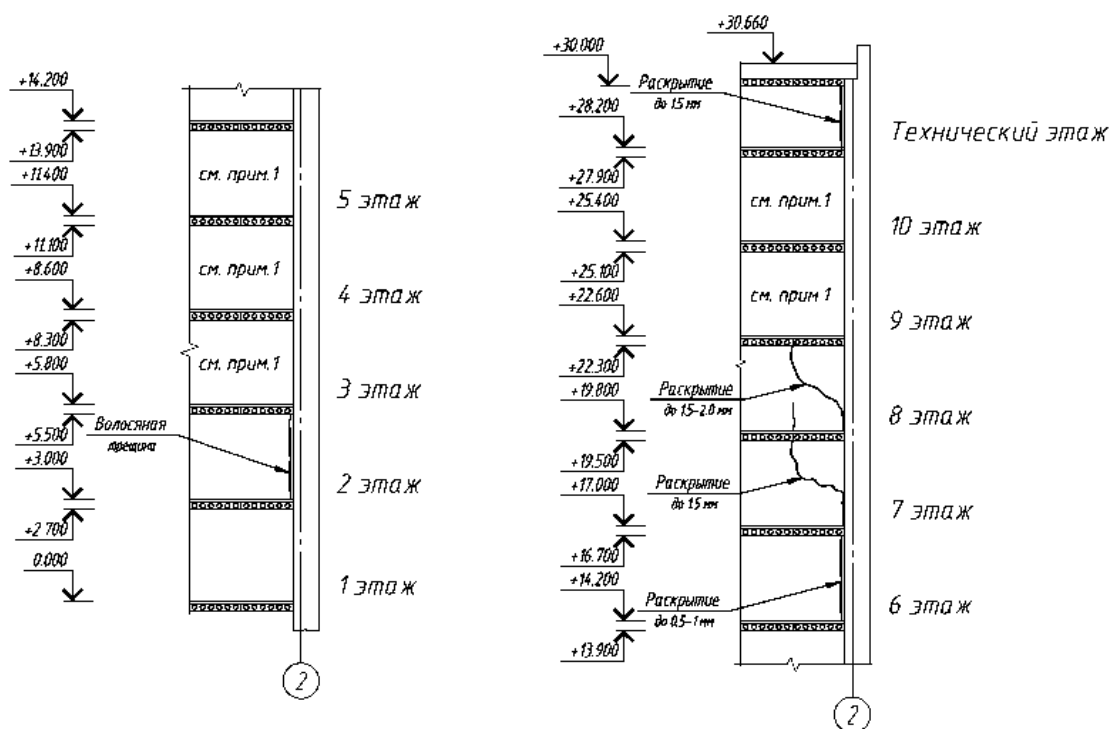
В качестве примера были взяты результаты обследования жилого дома на выявление причин трещинообразования на внутренних стенах здания.

Обследование проводилось в соответствии с требованиями [1]. По проектным данным – внутренние стены выполнены из силикатного кирпича полнотелого СУР 150/15 и СУР 185-15. Наружные стены имеют толщину 770 мм, стены помещения технического этажа – 640мм. Кладка запроектирована из камня щелевого керамического рядового с облицовочным слоем из силикатного кирпича, что было подтверждено в ходе обследования.

По результатам обследования кирпичной кладки стен здания выявлены многочисленные сквозные наклонные и вертикальные трещины с различной шириной раскрытия (до 3мм), находившиеся в местах примыкания внутренних стен к наружным.

На верхних этажах наблюдается наибольшее раскрытие трещин. Наклонные трещины во внутренних несущих стенах идут в основном от стыка между первой и второй плитами перекрытия, прилегающими к наружным продольным стенам под углом 30-50 градусов (к горизонту), также следует отметить образование трещин в рустах между первой и второй плитой, куда приходит наклонная трещина на верхних этажах (рисунок).

На нижележащих этажах образования наклонных трещин не обнаружено. В ряде случаев также с верхних этажей идет только вертикальная волосная трещина в месте примыкания к наружной стене (рисунок, этаж 2).



1. Обследование не проводилось по причине отсутствия доступа в квартиру.

Рис. Положение трещин на стене по оси Б, примыкающей к оси 2

Похожие дефекты были описаны в статье инженера Р.С.Шахназарова [2]. Он провел обследования домов по сериям II-20-01САКБ и I-511 САКБ. Данные серии домов начали строить в начале 50-х годов. В своей работе автор ссылается на отсутствие учета различных свойств материалов, используемых в кладке наружных и внутренних несущих стен при проектировании данных серий. Им был произведен расчет и определена разность свободных деформаций, она превышала допустимые значения, что являлось причиной появления трещин.

Было установлено, что в нормативной документации [3], действующей на момент строительства выше указанных серий, расчета по деформациям представлено не было, он появился в более поздних изданиях [4].

На основе полученных данных о конструкции здания и проведенном сборе нагрузки был произведен расчет, согласно следующим нормативным документам: [5],[6].

При расчете условно принимается, что обе стены не связаны друг с другом, и определяется свободная деформация каждой из двух стен отдельно при действии расчетных длительных нагрузок.

Разность свободных деформаций этих стен должна удовлетворять условию

$$\delta_1 - \delta_2 \leq \delta_u \quad (\text{прил.Е})[5]$$

где :

δ_1 – абсолютная свободная деформация сжатия одной из стен (или участка стены)

δ_2 – то же, второй стены;

δ_u – предельная допустимая разность деформаций согласно таблице Е.1 [5].

Участок стен на пересечении осей Б/2:

$$\delta = \delta_2 - \delta_1 = 31,65 - 2,75 = 28,9 \text{ мм} > 13 \text{ мм}$$

где :

δ_1 – абсолютная свободная деформация сжатия наружной несущей стены из керамического камня;

δ_2 – абсолютная свободная деформация сжатия внутренней несущей стены из силикатного кирпича;

Из результатов расчета видно, что полученная разность деформаций превышает допустимую более чем в 2 раза, что и вызывает образование трещин.

Наибольшее раскрытие трещин в верхних этажах объясняется тем, что разность абсолютных деформаций внутренних и наружных стен достигает наибольшего значения в самом верхнем этаже и постепенно уменьшается в

нижележащих. Участок внутренней стены, примыкающей к наружной, находится в сложном напряженном состоянии вследствие перекоса под влиянием большего смещения средней части стены.

Выводы:

На основании изученной проектной документации, проведенного обследования, камеральной обработки данных, анализа научно-технической литературы и расчетов можно сделать вывод о том, что появление трещин во внутренних несущих стенах у стыка с наружной стеной вызвано различным уровнем напряжения связанных между собой стен и применением материалов с различной степенью деформативности и ползучести.

Рекомендации:

1. При проектировании зданий необходимо учитывать требования [5] по расчету используемых материалов на образование и раскрытие трещин. При несоблюдении этого простого правила все затраты на устранение данных дефектов лягут на проектировщиков.

2. Управляющие компании при приемке дома и обследовании появившихся трещин должны учитывать, что описанный дефект является скрытым.

1. ГОСТ 31 937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния».

2. Анализ причин аварий и повреждений строительных конструкций, проф. А.А. Шишкин, статья инж. Шахназарова Р.С. «Исследование причин трещинообразования во внутренних несущих стенах жилых домов серии II-20-01 САКБ и I-511 САКБ/ГОССТРОЙ СССР/ ЦНИИОСК им. Н.М. Герсенова. – М.: Стройиздат, 1964. – 292 с.

3. «Строительные нормы и правила, часть II, Нормы строительного проектирования», Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, Москва, 1954г.

4. СНиП II-B.2-62* строительные нормы и правила. Каменные и армокаменные конструкции. Нормы проектирования: утв. Постановлением государственного комитета совета министров СССР по делам строительства от 16 сентября 1971 г. N 154взамен: СНиП II-B.2-62; СН 29-58; СН 52-59; СН 175-61; СН 344-65, Москва, 1969г.

5. СП 15.13330.2012 Свод правил. Каменные и армокаменные конструкции: утв. приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 29 декабря 2011 г. N 635/5.-Введ. 01.01.2013.

6. «Пособие по проектированию каменных и армокаменных конструкций к СНиП II-22-81». Утв. приказом ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР от 15 августа 1985 г. № 243/л, Москва. – 272с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАНТОВ УСИЛЕНИЯ ПРОГОНОВ ИЗ ПРОКАТНОЙ СТАЛИ В ПОКРЫТИИ ЗДАНИЯ

Я.Н. Якуничева

Научный руководитель И.С. Казакова, канд. техн. наук, доцент

Вологодский государственный университет

г. Вологда

Одной из актуальных проблем строительства и эксплуатации существующих зданий является защита от атмосферных осадков и восстановление несущей способности строительных конструкций. Залогом успешного решения такого рода проблемы является строгое соблюдение требований нормативных документов, комплексный подход к ведению работ на каждом объекте, включающий в себя не только полномасштабное обследование сооружений с проведением инженерно-геологических изысканий, но и правильный выбор материалов и технологий, производство работ на высоком профессиональном уровне, экспертный надзор за объектом.

В работе представлены варианты усиления несущих конструкций кровли пожарной части на 4 машиновыезда с учебно-тренировочным комплексом. Было проведено обследование кровли в связи с ее постоянными протечками.

При обследовании кровли здания установлено, что кровля выполнена по основанию из стеновых сэндвич-панелей толщиной 200мм с металлическими обкладками. Для механического крепления кровли к основанию используются самонарезающиеся винты. В отдельных местах наблюдается выпирание над кровлей самонарезающихся болтов, прикрепляющих сэндвич-панели к прогонам, приводящее к прорыву кровли. Имеются участки с герметизацией поверхности кровли мастикой. Выявлено некачественное устройство примыканий кровли к вертикальным поверхностям в местах перепадов высот кровли и местах проходов через кровлю воздуховодов, вентиляционных шахт.

При осмотре внутри здания наблюдаются протечки через продольные и поперечные швы панелей кровли во всех помещениях, в местах перепадов высот кровли, в местах прохода воздуховодов, вентиляционных шахт, через одиночные отверстия в панелях.

В покрытии здания приняты прогоны из прокатного швеллера 14, 20, 22 и 24 по ГОСТ 8240-93 с шагом 3м. Применение такого шага не обеспечивает несущую способность стеновых сэндвич-панелей из условия прочности утеплителя на сжатие. Установлено, что проектный шаг прогонов 3м влияет на увеличение нагрузок на утеплитель сэндвич-панелей в местах опирания на прогоны и может привести к деформации панелей (осадке слоя утеплителя) в местах опирания на прогон, приподниманию головок саморезов и, как следствие, прорыву кровельного покрывала.

На основании проведенных исследований и осмотра здания, были сделаны выводы, что причины протечек кровли связаны с неправильным конструктивным решением покрытия здания.

Поскольку не обеспечивается несущая способность прогонов конструкции кровли, то необходимо их усиление. В работе были исследованы два варианта усиления стальных прогонов.

Первый вариант усиления: Подведение снизу дополнительных прогонов, для уменьшения шага, и как следствие уменьшение нагрузки на стеновые сэндвич-панели кровли и сами прогоны.

Представленный вариант трудоемок, требует больших материальных затрат, так как необходим демонтаж инженерного оборудования в межферменном и межбалочном пространстве здания.

Второй вариант усиления заключается в превращении прогонов в ячеистые балки, сечение которых представляет собой: нижний пояс – это существующие прогоны, верхний пояс выполнен из двух равнополочных уголков, соединение верхнего и нижнего пояса производится с помощью металлических пластин (фасонок), для которых в сэндвич-панелях прорезаются отверстия, к швеллерам и уголкам пластины привариваются.

Сверху на ячеистые балки опирается профилированный лист и конструкция кровли из гибкой черепицы [1].

Во втором варианте усиления стеновые сэндвич-панели кровли не воспринимают снеговую нагрузку, а выполняют только ограждающую функцию.

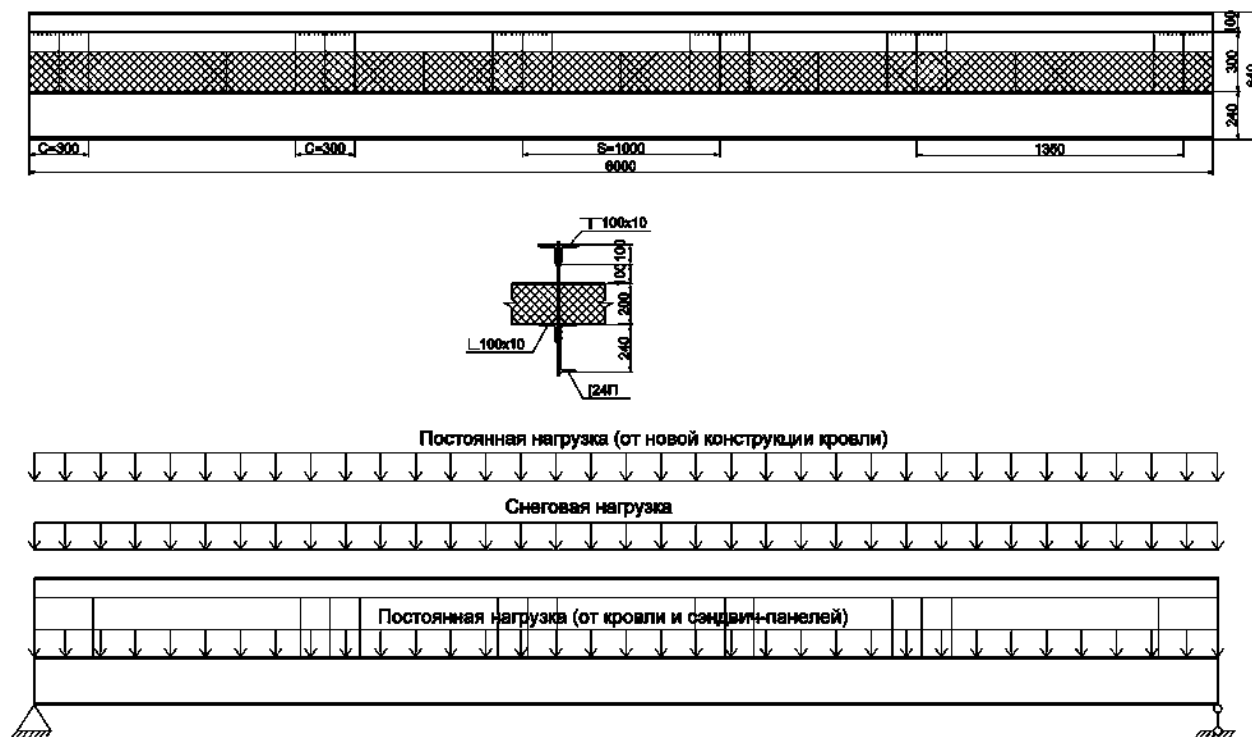


Рис. Конструкция усиления стальных прогонов и схема распределения нагрузки на усиленную конструкцию пролетом 6 м

В работе проведено технико-экономическое сравнение вариантов усиления, которое представлено в таблице.

Таблица

Сравнительный анализ вариантов усиления по весу и расходу материала

	I вариант	II вариант
По весу материала, т	19,22	17,8
По стоимости материала, руб	844368	481797

В результате сравнения представленных вариантов усиления стальных прогонов, наименее трудоемким и, как следствие, более экономичным является второй вариант. Использование в качестве усиливающей конструкции ячеистой балки позволяет сократить расходы на материал на 43%, общий вес конструкции усиления на 8% меньше, нет необходимости в демонтаже инженерного оборудования и существующей конструкции кровли.

1. СП 17.13330.2011 Свод правил. Кровли. Актуализированная редакция СНиП II-26-76: введ. Минрегионом России с 20.05.2010г. № 784 – 71с.

2. СП 16. 13330.2011 Строительные правила. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II -23-81*: введ. Министерством регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 27 декабря 2011.г № 791 – 171с.

**Секция «ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ,
КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ И ПРОМЫШЛЕННАЯ
ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА»**

**ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ АППРОКСИМАЦИИ ГРАНИЧНЫХ
УСЛОВИЙ В МЕТОДЕ КОНЕЧНЫХ РАЗНОСТЕЙ**

А.В. Армеев, К.А. Белоглазова, А.Е. Кузнецов

Научный руководитель Н. Г. Баширов, канд. техн. наук, доцент

Вологодский государственный университет

г. Вологда

В данной статье рассмотрены методы повышения порядка аппроксимации во внутренних точках тела и на его границе при решении задач теплопроводности методом конечных разностей (МКР).

Вначале рассмотрим граничные условия II рода для уравнения теплопроводности с постоянными коэффициентами в виде:

$$\frac{\partial t(0, \tau)}{\partial x} = q_2(\tau)/\lambda \quad (1)$$

$$\frac{\partial t(S, \tau)}{\partial x} = q_2(\tau)/\lambda, \quad (2)$$

Чтобы найти невязку граничных условий (погрешность аппроксимации) заменим производную $\frac{\partial t(0, \tau)}{\partial x}$, например, разностью вперед (правой разностью)

$$\frac{t_2^{i+1} - t_1^{i+1}}{\Delta x} = q_1(\tau_{n+1})/\lambda \quad (3)$$

Далее используя разложение по формуле Тейлора в граничной точке x_1

$$t_2 = t_1 + \Delta x \left(\frac{\partial t}{\partial x} \right)_1 + \frac{(\Delta x)^2}{2} \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} \right)_1 + \dots,$$

находим первую производную в точке x_1 на границе тела

$$\left(\frac{\partial t}{\partial x} \right)_1 = \frac{(t_2 - t_1)}{\Delta x} - (\Delta x) \frac{\partial^2 t(0, \tau)}{2 \partial x^2} + \dots$$

Отсюда невязка этого разностного уравнения получится в виде

$$e = \left(\frac{\partial t}{\partial x} \right)_{x=1} - \frac{(t_2 - t_1)}{\Delta x} = - \left(\frac{\Delta x}{2} \right) \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} \right)_{x=1} = O(\Delta x).$$

Для получения невязки во внутренних (регулярных) узлах тела используются простые шаблоны из четырех точек при явной, неявной и центральной разностях. Тогда искомые формулы температур получаются в виде

$$t_j^{i+1} = (1 - 2Fo_c) t_j^i + Fo_c (t_{j+1}^i + t_{j-1}^i) \quad \text{для явных схем,}$$

$$Fo_c (t_{j+1}^{i+1} + t_{j-1}^{i+1}) - (1 + 2Fo_c) t_j^{i+1} = -t_j^i \quad \text{для неявных схем,}$$

$$\frac{(t_j^{i+1} + t_j^{i-1})}{2\Delta\tau} = \frac{a(\delta^2)_j^i}{(\Delta x)^2} \quad \text{для центральной разности,}$$

Для оценки порядка аппроксимаций этих разностных функций разложим их также по формуле Тейлора и найдем вторую производную, например, для центральной аппроксимации

$\left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2}\right)_2 = \frac{(t_3 - 2t_2 + t_1)}{\Delta x^2} - (\Delta x)^2 \left(\frac{\partial^4 t(0, \tau)}{24 \partial x^4}\right)_2 + \dots$ и обозначив вторую производную как

$$\left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2}\right)_2 = \frac{(t_3 - 2t_2 + t_1)}{\Delta x^2} \quad \text{выразим погрешность аппроксимации}$$

$$e = (\Delta x^2) \max \left| \frac{d^4 t}{dx^4} \right| \quad (4)$$

Существует несколько способов повышения точности аппроксимации на границе тела. Расчеты проведем на примере явной схемы.

Вначале рассмотрим **способ фиктивных узлов**, который очень нагляден. В данном способе вводится вне тела $0 \leq x \leq S$ фиктивный узел $x_0 = x_1 - \Delta x$ и считается, что уравнение теплопроводности справедливо для точек $x_0 \leq x$. Тогда разностное уравнение для явной схемы:

$$\frac{t_1^{i+1} - t_1^i}{\Delta\tau} = a(t_2^i - 2t_1^i + t_0^i)/(\Delta x)^2.$$

Например, для левого граничного условия (1) заменим производную центральной разностью, включая фиктивный узел:

$$\frac{t_2^i - t_0^i}{2\Delta x} = \frac{q_1(\tau_i)}{\lambda}.$$

Решая два последних уравнения относительно температуры на границе тела, получим разностный аналог граничного условия

$$t_1^{i+1} = (1 - 2Fo_c)t_1^i + 2Fo_c t_2^i - \frac{2\Delta x Fo_c q_1(\tau_i)}{\lambda}. \quad (5)$$

Как видим это уравнение содержит только одно значение температуры нового слоя t_1^{i+1} , т.е. оно явное и имеет второй порядок аппроксимации.

Второй способ – **метод уменьшения невязки**, который менее нагляден, но более универсален.

Выразим $t(\Delta x, \tau)$ при помощи формулы Тейлора:

$$t(\Delta x, \tau) = t(0, \tau) + \Delta x \frac{\partial t(0, \tau)}{\partial x} + (\Delta x)^2 \frac{\partial^2 t(0, \tau)}{2 \cdot \partial x^2} + \dots$$

На основании граничного условия (1) положим $\frac{\partial t(0, \tau)}{\partial x} = q_1(\tau)/\lambda$, а из уравнения теплопроводности найдем $\frac{\partial^2 t(0, \tau)}{\partial x^2} = \left(\frac{1}{a}\right) \partial t(0, \tau)/\partial \tau$. Подставляя эти выражения в формулу Тейлора, находим

$$t(\Delta x, \tau) = t(0, \tau) + \left(\frac{\Delta x}{\lambda}\right) q_1(\tau) + \frac{\left[\frac{(\Delta x)^2}{2\alpha}\right] \frac{\partial t(0, \tau)}{\partial \tau}}{\partial \tau} + \dots$$

Заменяя производную по времени на границе $\frac{\partial t(0, \tau)}{\partial \tau} \approx (t_1^{i+1} - t_1^i)/\Delta \tau$ и переходя к индексным обозначениям, снова получаем формулу

$$t_1^{i+1} = (1 - Fo_c) t_1^i + 2Fo_c t_2^i - \frac{2\Delta x Fo_c q_1(\tau_i)}{\lambda}. \quad (5)$$

Теперь покажем, как можно получить разностный аналог граничных условий III рода, например, на правой поверхности пластины

$$\frac{\partial t(S, \tau)}{\partial x} = -\left(\frac{\alpha}{\lambda}\right) [t(S, \tau) - t_{cp}(\tau)], \quad (6)$$

Покажем формулу получения температуры последующего узла (по координате и времени). Используя разложение по формуле Тейлора к аппроксимации назад, получим

$$t_j^i = t_{j+1}^i - \Delta x \frac{\partial t(S, \tau)}{\partial x} + (\Delta x)^2 \frac{\partial^2 t(S, \tau)}{2 \cdot \partial x^2} + \dots$$

Перепишем данное уравнение, используя индексы узлов

$$t_j^i = t_{j+1}^i + \frac{\Delta x \alpha}{\lambda} (t_{j+1}^i - t_{cp}) + \frac{(\Delta x)^2}{2 \cdot \alpha \cdot \Delta \tau} (t_{j+1}^{j+1} - t_{j+1}^i).$$

Обозначим $\frac{\Delta x \alpha}{\lambda} = Bi$ (число Био), использование метода уменьшения невязки приводит к выражению

$$t_{j+1}^{i+1} = 2Fo_c t_j^i + 2Fo_c Bi_c t_{cp}^i + [1 - 2Fo_c (1 + Bi_c)] t_{j+1}^i, \quad (7)$$

Можно показать, что порядок аппроксимации выражений (5) и (7) составляет $O[(\Delta \tau)^2 + (\Delta x)^2]$.

Однако применение этих формул в расчетах ограничивает выбор сеточного числа Фурье. Снятие отмеченных ограничений на Fo_c возможно при использовании для аппроксимации граничных **условий метода неопределенных коэффициентов**. Если, например, в граничное условие третьего порядка

$$\frac{\partial t(0, \tau)}{\partial x} = \left(\frac{\alpha}{\lambda}\right) [t(0, \tau) - t_{cp}(\tau)] \text{ подставить разложение} \quad \left(\frac{\partial t}{\partial x}\right)_1 = \frac{-(3t_1 - 4t_2 + t_3)}{2\Delta x}, \quad (8)$$

то после решения найдем

$$t_1^n = (2Bi_c t_{cp} + 4t_2^n - t_3^n)/(3 + 2Bi_c). \quad (9)$$

Далее рассмотрим построение разностных схем повышенной точности. Путем повышения порядка невязки. Разложим функции $t_{j\mp 1}^i, t_j^{i+1}$, которые входят в дифференциальное уравнение теплопроводности:

$$t_{j\mp 1}^i = t_j^i - \Delta x \left(\frac{\partial t}{\partial x}\right) + \frac{(\Delta x)^2}{2} \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2}\right) \mp \frac{(\Delta x)^3}{6} \left(\frac{\partial^3 t}{\partial x^3}\right) + \frac{(\Delta x)^4}{24} \left(\frac{\partial^4 t}{\partial x^4}\right) \mp \frac{(\Delta x)^5}{24} \left(\frac{\partial^4 t}{\partial x^4}\right) + O(\Delta x^6) \quad (10)$$

$$t_j^{i+1} = t_j^i + \Delta \tau \left(\frac{\partial t}{\partial \tau}\right) + \frac{(\Delta \tau)^2}{2} \left(\frac{\partial^2 t}{\partial \tau^2}\right) + O(\Delta x^3). \quad (11)$$

Если рассматриваемая функция гладкая, то из уравнения теплопроводности следует:

$$\frac{\partial^2 t}{\partial \tau^2} = \frac{\partial}{\partial \tau} \left(a \cdot \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} \right) = a \cdot \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(\frac{\partial t}{\partial \tau} \right) = a^2 \cdot \frac{\partial^4 t}{\partial x^4} \quad (12)$$

Из уравнения (11) получим $\frac{t_J^{i+1} - t_J^i}{\Delta \tau} = \left(\frac{\partial t}{\partial \tau} \right) + \frac{\Delta \tau}{2} \left(\frac{\partial^2 t}{\partial \tau^2} \right) + O(\Delta \tau^2)$. Отсюда невязка $e_\tau = \left(\frac{\partial t}{\partial \tau} \right) - \frac{t_J^{i+1} - t_J^i}{\Delta \tau} = -\frac{\Delta \tau}{2} \left(\frac{\partial^2 t}{\partial \tau^2} \right) + O(\Delta \tau^2)$.

Из уравнения (10) после сокращений получим:

$$e = \left(\frac{\partial^4 t}{\partial x^4} \right) \left(-\frac{\Delta \tau}{2} \right) \frac{t_J^{i+1} - t_J^i}{\Delta \tau} = -\frac{\Delta \tau}{2} \left(\frac{\partial^2 t}{\partial \tau^2} \right) + O(\Delta \tau^2)$$

В последнем уравнении главный член приравняем нулю, тогда невязка равна $e = O(\Delta \tau)^2 + (\Delta x)^4$. Отсюда получим $\Delta \tau = \frac{(\Delta x)^2}{6a}$ (13)

Вывод: для решения задач теплопроводности при граничных условиях второго и третьего родов требуется повышение порядка погрешности аппроксимации из-за их низкого порядка. Результаты, которые представлены в данной статье являются методами, повышающими точность аппроксимации при граничных условиях второго и третьего рода. Также показаны методы, при которых повышается точность аппроксимации во внутренних точках тела при решении задач теплопроводности. Если сетку построить по соотношению (13), то точность шага в явной сетке увеличивается на порядок по времени и на два порядка по переменной x .

ЧИСЛЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВИХРЕВЫХ ЗОН ПРИ СРЫВЕ ПОТОКА С ВНУТРЕННЕЙ КРОМКИ ОСТРОГО ОТВОДА

Е.Э. Беляева, Т.Ф. Шамсутдинов

Научный руководитель А.М. Зиганишин, канд. техн. наук, доцент

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

г. Казань

Работа посвящена численному исследованию влияния геометрических размеров на протяженность вихревой зоны в двухмерных каналах с фасонными элементами в форме «острый отвод» под углом 90° с различным соотношением размеров до и после поворота.

При течении жидкости и газа в каналах инженерных систем происходят потери давления, вызванные трением потока о стенки трубопроводов и возду-

ховодов, и потерями в местных сопротивлениях. Местные потери давления связаны с перестройкой потока в возмущающих элементах (ВЭ) и образованием вихревой зоны вследствие срыва течения с острых кромок. Причём для вентиляционных систем именно в ВЭ (отводах, тройниках, крестовинах и т.п.) наблюдается наибольшее падение давления, снижение которого является одной из главных задач энергоресурсосбережения.

Одним из самых действенных способов снижения потерь давления является совершенствование фасонных деталей. В последнее время появилось немало работ, посвященных профилированию ВЭ с использованием численных методов [1-2]. Поскольку численный эксперимент позволяет без существенных материальных затрат исследовать сложные течения с геометрией, наиболее приближенной к реальным условиям.

Для создания профилированного фасонного элемента необходимо знать очертания вихревой зоны в непрофилированном местном сопротивлении. Определить её экспериментально достаточно сложно. Кроме того, для разных соотношений геометрических размеров ВЭ она своя.

В работе при помощи комплекса вычислительной гидродинамики Ansys Fluent проводится численное решение задач о течении воздуха в двухмерном канале с отводом для различных соотношений b_1/b_0 (рис. 1). Размеры канала изменяются от 0,1м до 0,2м для b_0 и от 0,12м до 0,4м для b_1 . Входная граница **AB** моделируется при помощи граничного условия (ГУ) “velocity inlet” – задающее равномерный профиль скорости $v=10\text{м/с}$; на выходной границе **ED** – избыточное давление равно нулю, остальные границы – твердая стенка.

В качестве модели турбулентности выбрана «стандартная» k-ε модель со стандартными пристеночными функциями, поскольку наиболее адекватно воспроизводит исследуемое явление [3]. Для избавления от сеточной зависимости при решении каждого варианта задачи производилось последовательное измельчение сетки с определением коэффициента местного сопротивления (КМС) на каждом этапе. КМС выбран в качестве контрольного параметра, поскольку является искомым. К примеру, в задаче с отводом при $b_1/b_0=2$, у первоначальной сетки, размер ячеек составлял 0,1м., а их количество – 804шт. После ряда измельчений, сетка, принятая как окончательная имела: размер ячеек – 0,03125м. и их количество – 346341шт.

Ожидается, что очертание вихревой зоны зависит от соотношения b_1/b_0 , а при одинаковых соотношениях b_1/b_0 и разных размерах b_1 и b_0 остается одинаковым. Для проверки решаются задачи для отвода с $b_1=0,2\text{м.}; b_0=0,2\text{м.}$ ($b_1/b_0=1$) и $b_1=0,4\text{м.}; b_0=0,2\text{м.}$ ($b_1/b_0=2$) и сравниваются с результатами, полученными ранее: $b_1=0,1\text{м.}; b_0=0,1\text{м.}$ ($b_1/b_0=1$) [1] и $b_1=0,2\text{м.}; b_0=0,1\text{м.}$ ($b_1/b_0=2$). Результаты приведены на рис. 1.

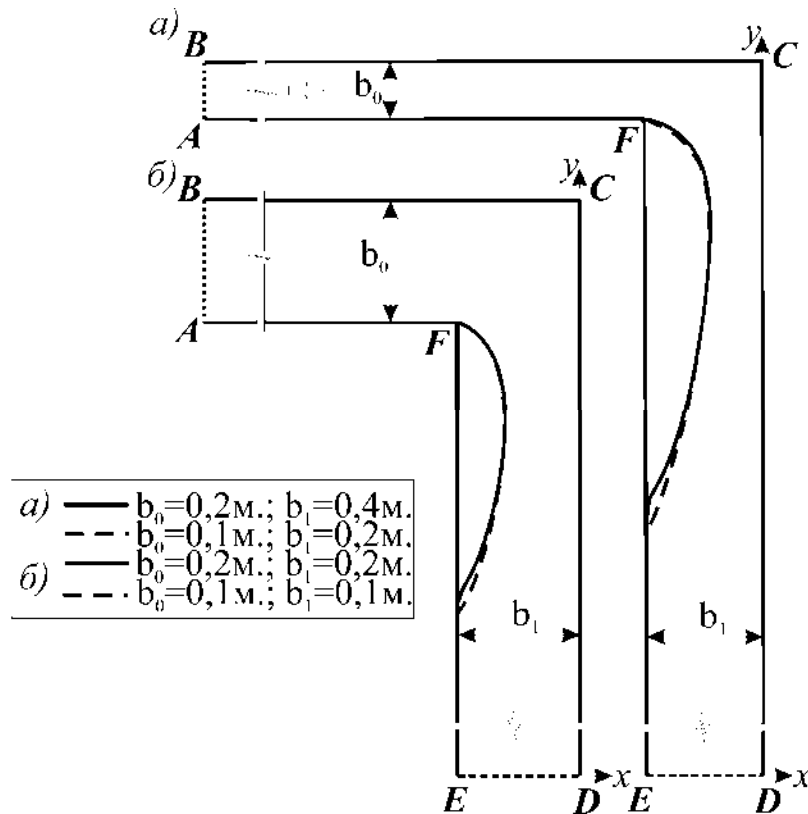


Рис. 1. Геометрия расчетной области и зона влияния:
а) для $b_1/b_0=2$, б) для $b_1/b_0=1$

На рис. 1а показаны очертания вихревых зон для двух задач о течении воздуха в каналах с разным сечением, но одинаковым соотношением размеров $b_1/b_0=1$. А на рис. 1б – результаты расчетов для отводов с $b_1/b_0=2$. Видно, что размеры вихревой зоны не зависят от размеров канала до и после поворота при одинаковом соотношении b_1/b_0 , но сильно отличаются при разных b_1/b_0 . Причем чем больше это отношение, тем больше зона отрыва.

Далее для определения зависимости очертания вихревой зоны от b_1/b_0 решается ряд задач: $b_1/b_0=0,6$; $b_1/b_0=1$; $b_1/b_0=2$ при $b_0=0,2$ м.

На рисунке 2 приведены очертания вихревых зон построенные в безразмерных координатах ($\bar{x} = \frac{x}{b_0}$ – безразмерное координата вдоль канала после поворота, $\bar{y} = \frac{y}{b_0}$ – безразмерное расстояние поперек канала). Видно, что увеличение b_1/b_0 приводит к существенному увеличению размеров отрывной зоны. Это связано, с тем, что увеличение сечения за поворотом ведет к возрастанию диффузорного эффекта, что усиливает отрыв потока и вихреобразование, тем самым увеличивая вихревую зону [4].

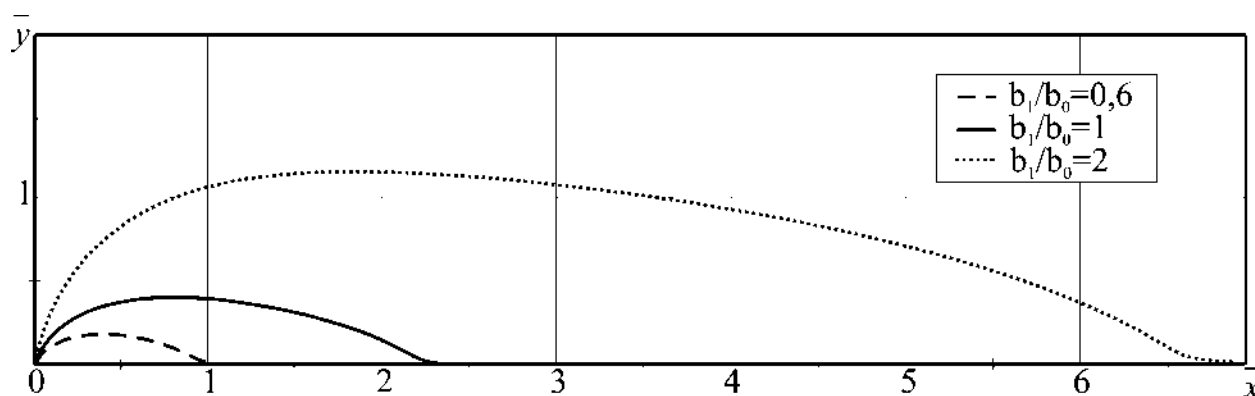


Рис. 2. Зависимость очертания вихревых зон от b_1/b_0

1. Зиганшин А.М. Снижение энергозатрат при движении потоков путём профилирования фасонных частей в коммуникациях энергоустановок // Надёжность и безопасность энергетики. – 2015. – №1(28) – С.63-68.

2. Посохин В.Н., Зиганшин А.М., Самиева А.Ж., Минязова Р.И. Численное моделирование течения в канале с профилированным сужением // Строительная физика. Системы обеспечения микроклимата и энергосбережения в зданиях. Международная конференция – академические чтения. – М. 2-4 июля 2014. – С.126-128.

3. Беляева Е.Э., Зиганшин А.М. Численное определение сопротивления плоского отвода для широкого диапазона изменения размеров. Материалы III международной конференции (IX Всероссийской конференции) «Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции «НАСКР – 2016»» 23-24 ноября. Чебоксары: ЧувГУ, 2016.

4. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям/ Под ред. М. О. Штейнберга. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.

ПОВЫШЕНИЕ МОЩНОСТИ ПАРОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД ВРЕМЕНИ

С.А. Бучнев

Научный руководитель **С.В. Лукин**, д-р техн. наук, профессор

Череповецкий государственный университет

г. Череповец

Последние 15 лет в России происходит активное внедрение газотурбинных (ГТУ) и парогазовых (ПГУ) установок на тепловых электростанциях. При наличии значительных преимуществ ГТУ и ПГУ перед паротурбинными установками, их существенным недостатком является значительная зависимость генерируемой электрической мощности от параметров атмосферного воздуха.

При повышении температуры или снижении давления атмосферного воздуха происходит значительное уменьшение мощности ГТУ или ПГУ [1].

Так, на самой крупной в России ПГУ-800, установленной на Киришской ГРЭС, снижение электрической мощности ГТУ в теплые летние дни может достигать до 20% от их номинального значения, что составляет для двух ГТУ до 110 МВт. Снижение мощности ГТУ, а следовательно и ПГУ в целом, происходит в дневное время, когда имеют место пики потребления электроэнергии.

Решением такой проблемы является охлаждение атмосферного воздуха перед поступлением его в компрессор ГТУ [2].

Полезная мощность ГТУ, кВт, определяется выражением: $N = G \cdot H$, где G – массовый расход рабочего тела, кг/с; H – удельная полезная работа, кДж/кг [3]. Для энергетической ГТУ объемный расход воздуха V , м³/с, забираемого компрессором из атмосферы, остается постоянным. Поэтому при увеличении температуры и при уменьшении давления атмосферного воздуха, когда уменьшается его плотность ρ , происходит снижение массового расхода $G = \rho \cdot V$. Относительное изменение полезной мощности ГТУ можно оценить по выражению: $\Delta N/N_0 = \Delta G/G_0 + \Delta H/H_0$, где N_0 , G_0 , H_0 – величины, соответствующие стандартным условиям для ГТУ: температура и давление атмосферного воздуха $T_0 = 288$ К ($t_0 = 15^\circ\text{C}$), $p_0 = 0,1013$ МПа (760 мм рт. ст.); $\Delta N = N - N_0$ – изменение мощности ГТУ при изменении массового расхода на величину ΔG и удельной полезной работы – на ΔH . Плотность атмосферного воздуха определяется уравнением Клапейрона: $\rho = p/(R \cdot T)$, где p , T – действительные давление и температура воздуха; R – газовая постоянная. С учетом выражения $G = \rho \cdot V$, где $V = \text{const}$, нетрудно получить выражение: $\Delta G/G_0 = -(\Delta T/T_0 - \Delta p/p_0)$, где $\Delta T = T - T_0$; $\Delta p = p - p_0$. Относительное изменение удельной полезной работы определяется изменением температуры по выражению [3]: $\Delta H/H_0 = -(1/\varphi - 1) \cdot \Delta T/T_0$, где φ – коэффициент полезной мощности ГТУ.

Приняв для ГТУ SGT5-4000F $N_0 = 288$ МВт, $\varphi = 0,52$, по приведенным выше формулам рассчитана зависимость ее мощности от температуры атмосферного воздуха при различных давлениях $p = 760; 745; 730$ мм рт. ст. Данная зависимость показана на рис. 1.

Из рис. 1 видно, что при увеличении температуры атмосферного воздуха t от 15 до 35 °С электрическая мощность ГТУ при $p = p_0 = 760$ мм рт. ст. практически линейно снижается на 41 МВт от номинального значения 288 МВт до 247 МВт, т.е. на 14%. Наоборот, при понижении температуры воздуха до 5 °С электрическая мощность возрастает до 308 МВт, что на 7% выше номинального значения.

Снижение атмосферного давления также влияет на мощность ГТУ. Так, при уменьшении давления атмосферного воздуха на 30 мм рт. ст от нормального значения p_0 электрическая мощность ГТУ при $t = t_0 = 15^\circ\text{C}$ практически линейно снижается на 11,5 МВт от 288 МВт до 276,5 МВт.

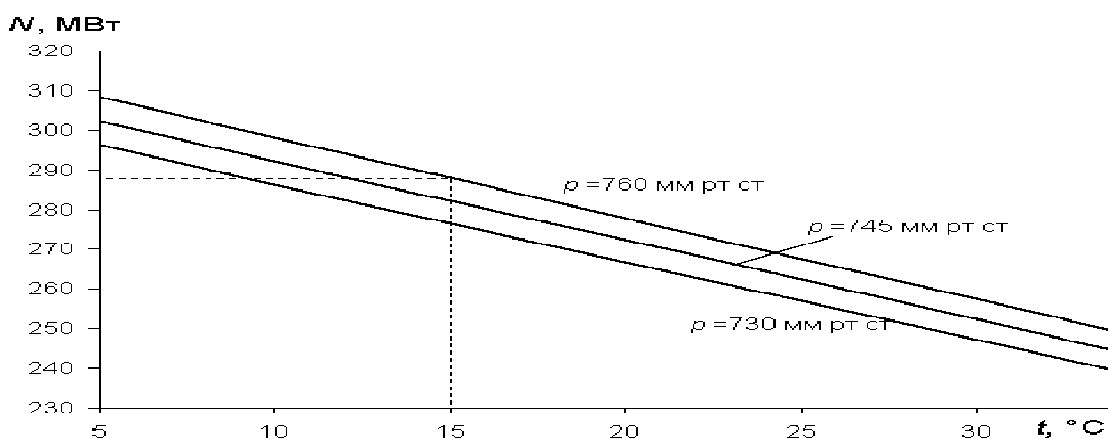


Рис. 1. Зависимость электрической мощности ГТУ SGT5-4000F от температуры атмосферного воздуха

Рассмотрим энергетический аспект предлагаемого решения по охлаждению атмосферного воздуха. Холодильная мощность, кВт, необходимая для охлаждения воздуха от температуры T до T_0 , определяется выражением: $Q_x = c \cdot G_0 \cdot \Delta T$, где $c \approx 1$ кДж/(кг·К) — теплоемкость воздуха; $G_0 \approx 650$ кг/с — нормальный расход воздуха на ГТУ; $\Delta T = T - T_0$ — понижение температуры воздуха в воздухоохладителе, К. При получении холода в парокомпрессионных холодильных установках при охлаждении воздуха, например, от 25°C до 15°C вполне реально получить холодильный коэффициент $\varepsilon \approx 5$. Тогда затрата электроэнергии, кВт, на получение холода составит: $W_x = Q_x / \varepsilon$.

На рис. 2 показаны рассчитанные применительно к ГТУ SGT5-4000F зависимости потери мощности ГТУ ΔN ($\Delta N < 0$), расхода электроэнергии на холодильный цикл W_x ($W_x > 0$), и выигрыша в мощности ГТУ $\Delta N_3 = W_x - \Delta N$ ($\Delta N_3 > 0$) от изменения температуры воздуха ΔT .

Из рис. 2 следует, что, например, при изменении температуры воздуха на $\Delta T = 10$ К ($t = 25^\circ\text{C}$, $t_0 = 15^\circ\text{C}$) мощность ГТУ (без охлаждения воздуха) снижается на 20,9 МВт ($\Delta N = -20,9$ МВт). При охлаждении воздуха с расходом 650 кг/с на 10 К требуется расход холода $Q_x = 6,5$ МВт. Расход электроэнергии на парокомпрессионный холодильный цикл при $\varepsilon = 5$ составит 1,3 МВт. При этом выигрыш в электрической мощности составит 19,6 МВт ($\Delta N_3 = 19,6$ МВт). Отношение $W_x / \Delta N_3 \approx 6,6\%$, т.е. затрачивая 1 кВт электроэнергии на холодильный цикл можно получить 15 кВт выигрыша в электрической мощности.

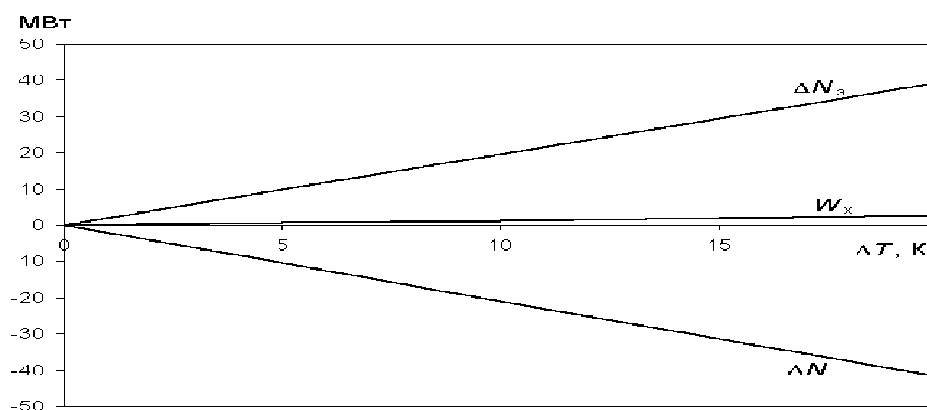


Рис. 2. Зависимость величин ΔN , W_x , $\Delta N_{\text{э}}$ от изменения температуры воздуха ΔT

На Киришской ГРЭС в летнее время имеются избытки тепловой мощности у теплофикационных турбин (типа ПТ-50-130/7, ПТ-60-130/7), поэтому наиболее выгодно вырабатывать холод в абсорбционных холодильных машинах (АБХМ). В современных АБХМ при получении холодной воды с температурой $1 \div 7^\circ\text{С}$ коэффициент теплоиспользования $\chi = Q_x/Q_T$ составляет $0,75 \div 1,43$, при этом расход теплоты греющего пара Q_T с давлением $3 \div 10$ бар составляет $0,7 \div 1,33$ кВт на 1 кВт вырабатываемого холода Q_x , причем более совершенными являются двух- и трехступенчатые АБХМ (у них выше коэффициент χ). При $\chi = 1$ для выработки холода мощностью $Q_x = 6,5$ МВт расход теплоты пара составит $Q_T = 6,5$ МВт, что в пересчете на расход пара равняется примерно 10,5 т/ч. При этом в горячий источник теплоты от АБХМ нужно будет отводить тепловую мощность $Q = Q_x + Q_T = 13$ МВт, что намного меньше тепловой мощности, отводимой в конденсаторах паровых турбин Киришской ГРЭС.

Для охлаждения воздуха перед ГТУ можно использовать стандартные воздухоохладители, применяемые в некоторых ГТУ при промежуточном охлаждении воздуха между компрессорами низкого и высокого давления, или собирать воздухоохладители из стандартных секций оребренных труб, причем внутри труб должна протекать охлаждающая вода (или другой хладагент). Снаружи трубы омываются поперечным потоком воздуха, который охлаждается от температуры T до T_0 .

Поскольку при прохождении охлаждаемого воздуха через воздухоохладитель имеют место аэродинамические потери, то имеет смысл подавать воздух в воздухоохладитель с помощью осевого вентилятора, так как расчеты показывают, что снижение электрической мощности ГТУ в результате потери давления воздуха перед ней в $3 \div 4$ раза превышает затраты электроэнергии на вентилятор, компенсирующий эти потери давления. Так, например, при снижении атмосферного давления на 20 мм рт. ст. мощность ГТУ SGT5-4000F при $T = T_0$ снижается на 7,5 МВт, а вентилятор, повышающий давление воздуха на 20 мм рт. ст. будет потреблять примерно 1,9 МВт (при КПД вентилятора

0,85). То есть, затрачивая 1 кВт электроэнергии на вентилятор, можно получить 3÷4 кВт дополнительной мощности ГТУ.

Основные капитальные затраты приходятся на абсорбционную холодильную машину, удельная стоимость которой у иностранных производителей составляет ~ 110 долл. США на 1 кВт холодильной мощности. При выработке холода в количестве $Q_x = 6,5$ МВт ($\Delta T = 10$ К) стоимость АБХМ составит ~ 700 тыс. долл. США. С учетом дополнительных затрат на воздухоохладитель, вентилятор и градирню, капитальные затраты на СОВ могут составить порядка 1 млн. долл. США. При этом выработка электроэнергии на одной ГТУ SGT5-4000F в летнее время увеличивается примерно на $\Delta N = 20$ МВт. Энергетическими затратами на работу СОВ можно пренебречь, т.к. при ее работе повышается КПД ГТУ, и, кроме того, АБХМ вообще может работать на бросовой теплоте. Удельные капиталовложения в СОВ составят: $k = \Delta K / \Delta N \approx 50$ долл. США на 1 кВт дополнительной электрической мощности. Стоимость СОВ для двух ГТУ SGT5-4000F, входящих в состав ПГУ-800, суммарной холодильной мощностью 13 МВт составит 2 млн. долл. США. При установке отечественного оборудования стоимость СОВ может быть значительно ниже.

Срок окупаемости СОВ зависит от установленной холодильной мощности и степени ее загрузки в течение лета. Чем меньше холодильная мощность, тем больше будет ее степень загрузки, и тем быстрее она окупится. Степень загрузки, в свою очередь, зависит также от конкретных климатических условий.

По предварительным оценкам, СОВ для Киришской ГРЭС холодильной мощностью 13 МВт должна окупиться в течение 2-3 летних месяцев.

1. Цанев С.В., Буров В.Д., Ремезов А.Н. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 548 с.

2. Шахин Н., Акул Х. Системы охлаждения воздуха на входе в газотурбинные установки // Турбины и дизели. – 2011. – № 2. – С. 8 – 11.

3. Костюк А.Г., Фролов В.В., Булкин А.Е., Трухний А.Д. Турбины тепловых и атомных электрических станций. – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 488 с.

УСТРОЙСТВО ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАЗДЕЛИТЕЛЯ

Я.В. Ганюк

Научный руководитель **Е.А. Бирюзова**, канд. техн. наук, доцент
Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет
г. Санкт-Петербург

Система отопления является достаточно сложным инженерным сооружением, для эффективного функционирования которого требуется добиться максимального согласования, балансировки работы всех его элементов. Добиться таких результатов не так просто, особенно если система сложная, разветвленная, включающая несколько контуров, различающихся и по принципу работы, и по температурному режиму. Существует несколько вариантов достижения подобного результата, но одним из наиболее простых и эффективных способов является совсем несложное, но очень эффективное устройство – гидравлический разделитель или, как его чаще называют, гидрострелка для отопления. На сегодняшний день гидравлический разделитель является одним из востребованных видов оборудования. При его установке в систему отопления каскадная котельная стабильно работает без каких-либо множественных тепловых колебаний. Традиционная система присоединения котлов к отопительным системам обладала несколькими существенными недостатками. Насосы было сложно подобрать для такой системы, а внутри котла могло быть множество сильных тепловых колебаний. Помимо указанных выше функций, гидравлическая стрелка может быть изготовлена с дополнительными функциями: деаэрации, фильтрации и магнитной обработкой воды. Деаэрация – улавливание и отведение растворенных в воде газов, образовавшихся в результате нагрева воды. Фильтрация – уловление и отведение шлама. Магнитная обработка воды – улавливает частицы металла, окарины из воды, обрабатывает воду магнитным полем. Наличие данных функций в гидравлической стрелке позволяет избежать дополнительных расходов на закупку воздухоотборников, грязевиков и шламоудалителей. Со всеми этими недостатками сегодня борется гидравлический разделитель.

На рисунке 1 движение воды от котла показано стрелкой. Вода, поступающая в гидрострелку, огибает разделительную пластину (2) и поступает через канал воздухоудаления (3) к выпрямителю потока (4). Для сброса лишнего воздуха из воды в конструкции предусмотрен автоматический воздухоотводчик (1). Для контроля температуры воды в гидрострелке в гильзу (5) устанавливается термометр. Дальнейшее движение воды в систему показано стрелкой. Стрелкой более темного цвета показано обратное движение воды из системы к котлу. Через разделительные пластины (6) вода перемешивается в гидрострелке. Внизу гидрострелки расположен грязесборник с пластинами (7).

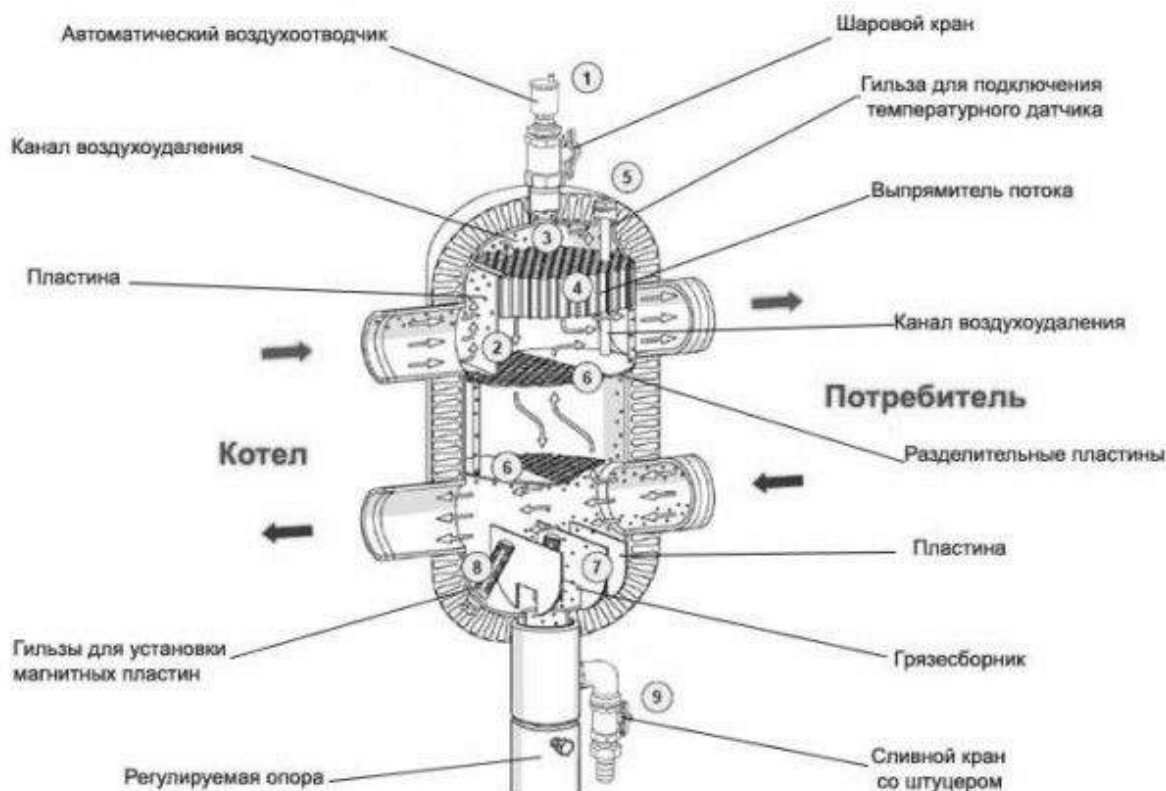


Рис. 1. Схема устройства

Грязь из гидрострелки сливается краном (9). Как видно из схемы, конструкция не такая сложная, и особых требований к эксплуатации нет. Нужно просто следить за работой автоматического воздухоотводчика и сбрасывать накопившуюся грязь из гидрострелки. Кроме того, одна из важнейших функций гидравлической стрелки – защита теплообменника котла от теплового удара. Во время первого включения котла теплообменник может нагреться до высокой температуры за очень короткий промежуток времени, при этом даже в самой короткой петле отопления теплоноситель еще не успевает нагреться до аналогичной температуры. Поэтому из обратного трубопровода системы отопления, "холодный" теплоноситель попадает на раскаленный теплообменник, что приводит к его преждевременному разрушению и выходу котла из строя. Гидрострелка изготавливается в виде вертикальной или горизонтальной емкости с патрубками и внутренними элементами. Количество патрубков зависит от числа контуров системы и может иметь четыре и более. Расположение патрубков гидрострелки определяется расчетом. Изготавливаются они с резьбовым (для малых систем) или фланцевым присоединением к контурам системы отопления. Внутри гидравлической стрелки может происходить перемешивание входящей и возвратной воды, и он может работать в трех режимах.

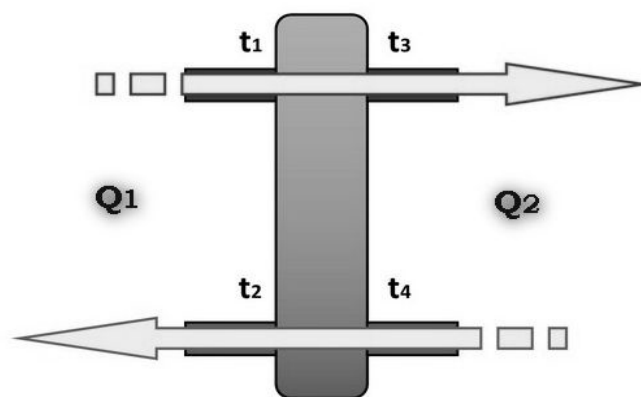


Рис. 2. Поток контура котла равен потоку контура отопления

На рисунке 2 представлена работа гидравлической стрелки следующим образом. Напор, созданный насосом малого контура котла равен суммарному напору всех контуров отопления ($Q_1 = Q_2$). Температура на входе и выходе подачи равны ($t_1 = t_3$). Аналогичная ситуация и на патрубках «обратки» ($t_2 = t_4$). Вертикальное перемещение теплоносителя минимально или даже вовсе отсутствует. На практике такая ситуация если и встречается, то крайне редко, эпизодически, так как параметры работы контуров отопления имеют тенденцию к периодическому изменению.

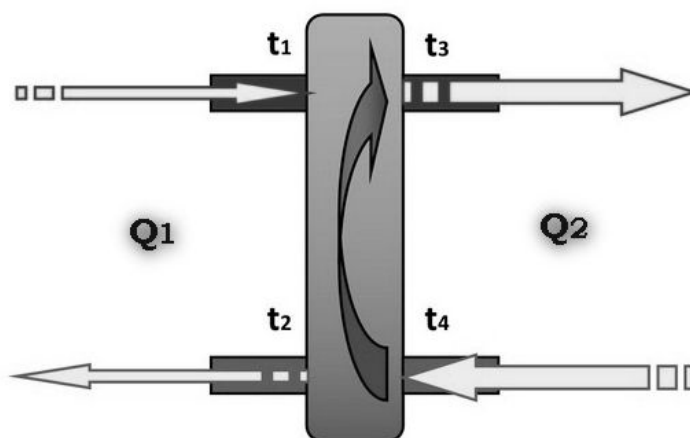


Рис. 3. Контур отопления больше потока контура котла

Ситуация вторая. Суммарный расход теплоносителя в контурах отопления превышает аналогичный показатель насоса котла ($Q_1 < Q_2$). По сути, можно охарактеризовать так: «спрос» на воду превышает то, что может «предложить» котел. Ситуация достаточно часто встречающаяся, когда одновременно задействовано большинство контуров. В этом случае образуется вертикальный восходящий поток от патрубка обратки большого контура к патрубку подачи. Перемещаясь вверх, вертикальный поток перемешивается с горячим теплоносителем, поступающим от котла. Температурный режим: $t_1 > t_3$, $t_2 = t_4$.

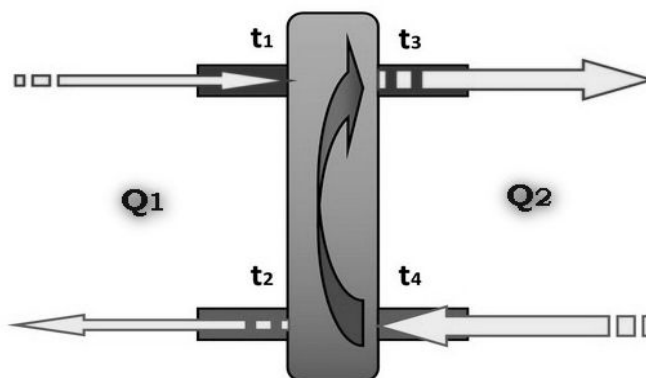


Рис. 4. Поток контура котла больше потока контура отопления

Ситуация три – диаметрально противоположная – расход в малом контуре (не изменяясь номинально) стал выше, чем суммарно в контурах отопления ($Q_1 > Q_2$). «Предложение» превысило «спрос» на теплоноситель. Ничего критичного не происходит – контур котла работает в большей части «на себя», перекачивая основной объем теплоносителя по малому кругу. В самой гидрострелке образуется вертикальный нисходящий поток, от подачи к «обратке». Температурный режим: $t_1 = t_3$, $t_2 > t_4$. При таком режиме работы температура в «обратке» достаточно быстро доходит до порога срабатывания автоматического отключения котельного оборудования, чем достигается рациональное использование топлива.

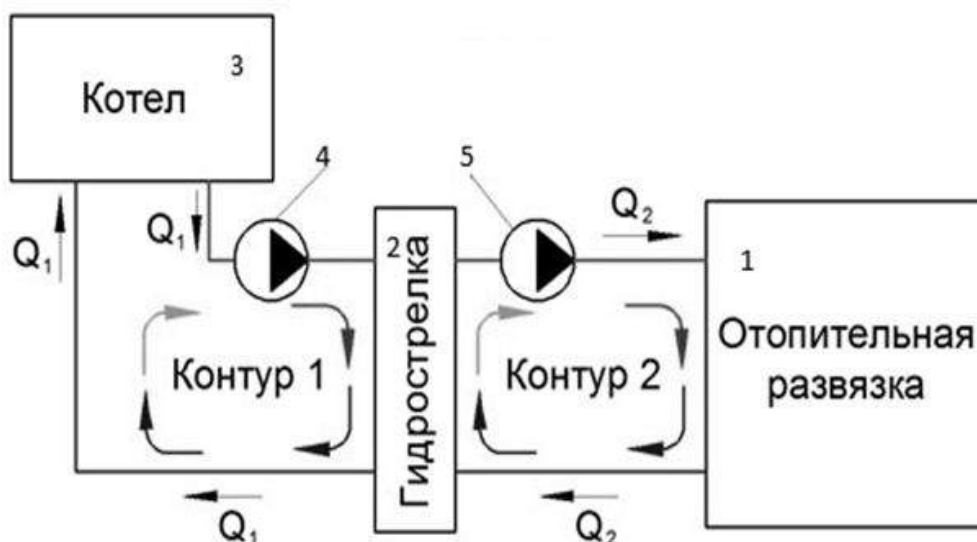


Рис. 5. Принцип работы гидравлической стрелки в системе
1 – отопительная развязка; 2 – гидрострелка; 3 – котел; 4,5 – насосы

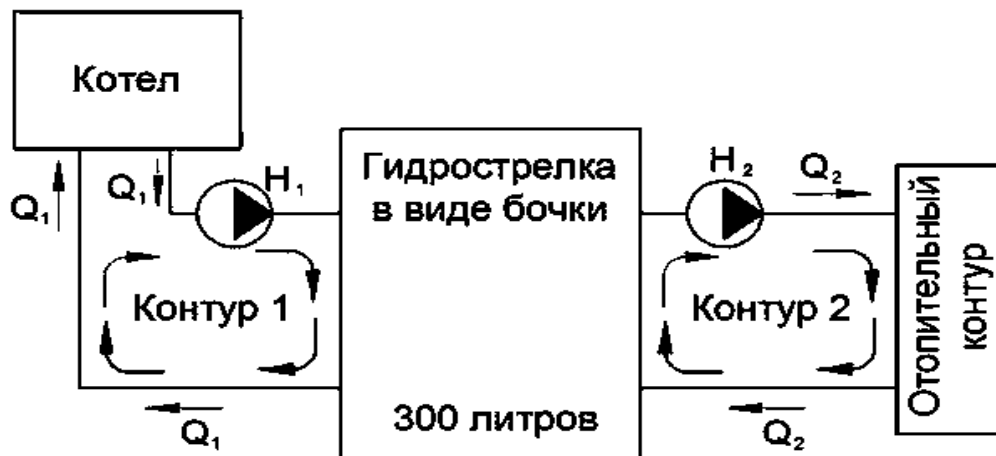


Рис. 6. Схема емкостного разделителя в системе отопления

Насос 4 создает циркуляцию теплоносителя через гидравлическую стрелку по первому контуру. Насос 5 создает циркуляцию теплоносителя через гидравлическую стрелку по второму контуру. Тем самым происходит перемешивание теплоносителя в гидравлической стрелки, но если расход $Q_1 = Q_2$, то происходит взаимное проникновение теплоносителя из контура в контур, тем самым как бы создавая один общий контур. В этом случае вертикальное движение в гидравлической стрелке не происходит или это движение стремится к нулю. В случаях, когда $Q_1 > Q_2$ движение теплоносителя в гидравлической стрелки происходит сверху вниз. В случаях, когда $Q_1 < Q_2$ наоборот снизу в вверх. Если сделать диаметр гидрострелки достаточно большим, то можно получить два в одном: гидрострелку и теплоаккумулятор, так называемый емкостной разделитель.

Как видно из рисунка, гидрострелка такого типа имеет большой объем, порядка 300 литров и более, поэтому способна, кроме выполнения своей основной задачи, еще и накапливать тепло. Использование гидрострелки такого типа особенно оправдано при отоплении твердотопливным котлом, так как способно сглаживать температурные скачки котла отопления и сохранять тепловую энергию котла после окончания горения довольно длительное время. Нужно знать некоторые нюансы при использовании такого типа гидрострелки: Во-первых, такую гидрострелку необходимо утеплить, поскольку в противном случае она будет отапливать котельную, а не отдавать тепло в систему отопления. Во-вторых, котел будет выдавать меньшую мощность. Это объясняется тем, что требуется большая температура теплоносителя, а на котлах установлена автоматика, которая будет автоматически уменьшать его мощность для снижения температуры на выходе.

2. Лебедев, П. Д. Теплоиспользующие установки промышленных предприятий. Курсовое проектирование. Учебное пособие для энергетических вузов / П. Д. Лебедев, А. А. Щукин – М.: Энергия, 1970. – 408 с.

3. Махов, Л. М. Использование гидравлического разделителя при децентрализованном теплоснабжении здания / Л. М. Махов, канд. техн. наук, профессор кафедры отопления и вентиляции Московского государственного строительного университета (МГСУ) // Научно-технический журнал АВОК – №4 – 2000;

4. Мировски, А., Материалы для проектирования котельных и современных систем отопления / Г. Ланге, И. Елень / Польша, Виссман – Изд-во “ЭКОинформ” 2005. – 294 с;

5. Сканави, А. Н. Отопление: Учебник для вузов. / А. Н. Сканави, Л. М. Махов – М.: Изд-во АСВ, 2002. – 576 с.: ил.;

6. Цынаева, А. А. Расчет элементов тепловой схемы котельной установки: методические указания к курсовому и дипломному проектированию / А. А. Цынаева, Д. Л. Жуховицкий – Ульяновск: УлГТУ, 2005. – 22 с.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ОКОН С РЕГУЛИРУЕМЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ОТОПЛЕНИЯ ЗДАНИЙ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОСУШКОЙ ВОЗДУХА ДЛЯ ПОМЕЩЕНИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Д. А. Лапатеев, Е. С. Румянцев

Научный руководитель Н. Н. Смирнов, доцент

Ивановский государственный энергетический университет
им. В. И. Ленина
г. Иваново

Снижение энергопотребления зданий в условиях постоянного удорожания топлива является актуальной задачей для экономики нашей «северной» страны с достаточно холодным климатом, особенно если учитывать весомую долю затрат на ТЭР (5-40%).

В Российской Федерации в последние 5 лет заметно активизировалась законодательная деятельность в области требований по повышению энергоэффективности и энергосбережения.

В соответствии с приказом Минрегионразвития требования к теплозащите конструкций и к потреблению энергии зданием должны предусматривать уменьшение показателей, характеризующих годовую удельную величину расхода энергетических ресурсов в здании, к 1 января 2020 г. не менее чем на 40 процентов по отношению к базовому уровню (рис. 1).



Рис. 1. Изменение нормируемого удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию, q_h^{red} , [кДж/(м³×°C×сут)], для отдельных видов зданий (5 этажей) на период с 2010 (базового) по 2020 гг. согласно приказу Минрегионразвития от 28 мая 2010 года № 262

Существенное значение в доле тепловых трансмиссионных потерь здания приходится на потери через оконные проемы (по разным оценкам, от 20 до 40 процентов от общего объема). В связи с этим целесообразно повышать энергетическую эффективность здания путем увеличения теплозащиты светопрозрачных конструкций.

Сотрудниками ИГЭУ, COSTIC и INSA Strasbourg были разработаны и запатентованы конструкции окон с теплоотражающими экранами панельного, рулонного и жалюзийного типа, выполненные из металла, которые значительно снижают тепловые потери. Применение экранов целесообразно в темное время суток или в отсутствии людей.

В сертифицированной климатической камере АНО «Ивановострой-испытания» были проведены исследования [1] по изучению влияния применения теплоотражающих непрозрачных металлических (алюминиевых) экранов в окнах на повышение сопротивления теплопередаче окон и снижения тепловых потерь. В качестве контроля использовались окна с двухкамерным стеклопакетом с формулой 4M1x10x4M1x10x4M1 и 4M1x10x4M1x10x4И (с теплоотражающим «И» покрытием на стекле).

Было экспериментально (опыт в климатической камере и численное моделирование) доказано, что в окнах с теплоотражающими экранами предусмотрено не только двухпозиционное регулирование сопротивления теплопередаче R_0 за счёт поднятия-опускания экранов, но, как видно из данных моделирования (рис.2), приведенное (и термическое) сопротивление теплопередаче в большей степени зависит от разности температур между внутренним и наружным воздухом Δt , причём чем больше количество установленных экранов, тем более явно проявляется эта зависимость.

Наибольшее сопротивление теплопередаче, как следует из данных, приведённых на рис. 2, получаем при минимальной разности температур и минимальной скорости наружного воздуха. Таким образом, сопротивление теплопередаче для окон с теплоотражающими экранами является нелинейной зависимостью.

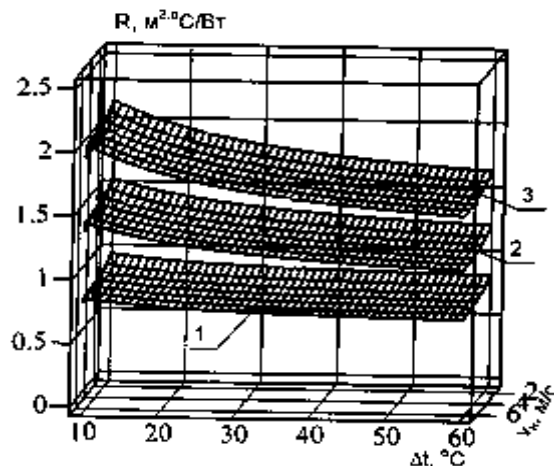


Рис. 2. Зависимость приведенного сопротивления теплопередаче центральной зоны окна при использовании стеклопакета (СП) формулой 4M1x10x4M1x10x4M1 и установленных снаружи 1 – одного металлического экрана; 2 – двух экранов; 3 – трёх экранов

Авторами [1] была разработана методика по определению минимальной температуры внутреннего воздуха при дежурном режиме отопления при выполнении условия недопущения выпадения конденсата на внутренней поверхности стекла окна с повышенными теплозащитными свойствами (с применением теплоотражающих экранов).

Для систем кондиционирования воздуха (СКВ), обеспечивающих необходимые параметры микроклимата для помещений промышленных предприятий, была разработана методика по определению снижения влагосодержания d и температуры воздуха t при «дежурном» режиме отопления с помощью системы кондиционирования в холодный период года.

Для определения энергетической эффективности использования теплоотражающих экранов в окнах в системах поддержания динамического микроклимата было произведено моделирование изменения температуры наружного воздуха для промышленного здания, расположенного в Москве (рис. 3-4). В качестве контроля принято окно со СП 4M1x10x4M1x10x4M1. Теплоотражающая панель, выполненная из 3 листов алюминия, используется снаружи на расстоянии 10 мм. График работы предприятия принят с 8 до 17 часов. Восход в 9 утра; заход в 16 часов (условия января). Относительная влажность внутри производственного помещения принята равной 40%. Моделировалось шесть режимов работы системы поддержания динамического микроклимата в производственном помещении промышленного предприятия: поддержание температуры воздуха в нерабочее время, равной $\bar{t}_{\text{деж}} = \bar{t}_{\text{ддм}} = 21^\circ\text{C}$ (контроль); то же, с использованием теплоотражающего экрана в окнах; пониже-

ние температуры $t_{\text{деж}}$ до нормируемых 12°C ; то же, с применением экрана; использование экрана с понижением $t_{\text{деж}}$ до минимально возможной; то же, с предварительной осушкой воздуха. Как видно из графика изменения температур в течение суток (рис. 3) температура внутреннего воздуха в рабочее время изменяется по синусоидальному закону, а в нерабочее время минимальная температура воздуха опускается до значения $8,1^{\circ}\text{C}$, а в случае предварительной осушки воздуха – до $5,3^{\circ}\text{C}$.

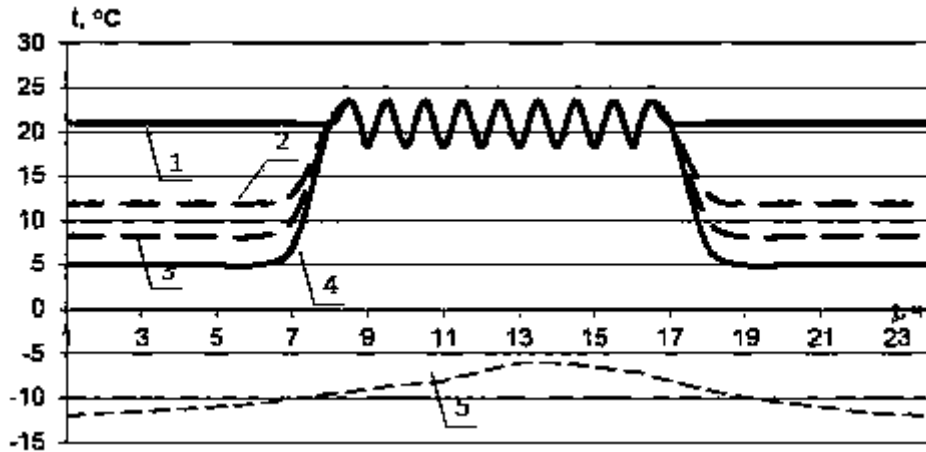


Рис. 3. Изменение температуры внутреннего и наружного воздуха в течение суток:

- 1 – температура внутреннего воздуха в контроле ($t_{\text{деж}} = \bar{t}_{\text{вн}} = 21^{\circ}\text{C}$);
- 2 – при понижении температуры воздуха до $t_{\text{деж}} = 12^{\circ}\text{C}$;
- 3 – то же, при понижении $t_{\text{деж}}$ до минимально возможной температуры исходя из условия недопущения выпадения конденсата;
- 4 – то же, с предварительной осушкой воздуха; 5 – температура наружного воздуха.

Сопротивление теплопередаче светопрозрачной части окна (рис. 4) значительно отличается в течение суток (относительно контрольного сопротивления $R_{\text{о}}^{\text{см}} = 0,47 (\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}) / \text{Вт}$) не только из-за использования экранов в окнах, но и претерпевает изменения из-за непостоянной разности температур внутреннего и наружного воздуха Δt . Δt принимает различные значения вследствие разных вариантов задания температуры воздуха в нерабочее время $t_{\text{деж}}$ и изменения температуры наружного воздуха. Для окна со стеклопакетом (СП) без экранов (график 1 на рис.4) сопротивление теплопередаче во времени будет постоянным. Как только в конструкции окна появляется теплоотражающий экран, то сопротивление теплопередаче окна становится достаточно зависимым от температуры внутреннего и наружного воздуха, поэтому на рис. 4 мы можем наблюдать в нерабочий период 4 вариации изменения сопротивления $R_{\text{о}}^{\text{см}}$ (графики 2-5). Максимальное сопротивление теплопередаче окна, равное $1,93 (\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}) / \text{Вт}$, достигается в случае использования экрана и минимальной температуры внутреннего воздуха (при предварительной осушке) в ближайшее время после окончания рабочей смены, что также связано с температурой наружного воздуха, которая принимает свои максимальные значения в эти часы.

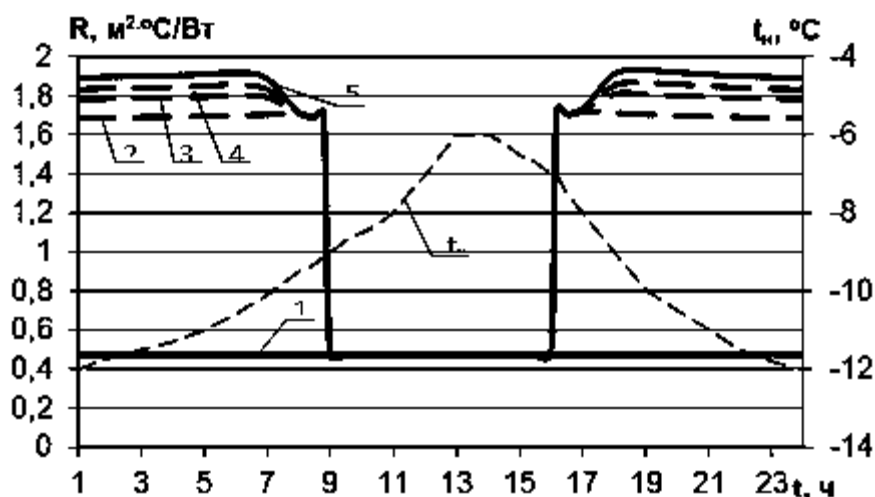


Рис. 4. Изменение приведенного сопротивления теплопередаче окна R в течение суток:

1 – контроль; 2 – при использовании в тёмное время суток экранов;
 3 – при использовании в тёмное время суток экранов и понижении температуры воздуха до $t_{\text{деж}}=12\text{ }^{\circ}\text{C}$; 4 – при использовании в тёмное время суток экранов и минимальной температуры внутреннего воздуха $t_{\text{деж, мин}}$; 5 – то же, с предварительной осушкой; t_n – график изменения температуры наружного воздуха

Получаем, что при применении окон с теплоотражающими экранами и солнечной батареей наблюдается тройной энергетический эффект: в отопительный период уменьшаются теплотери за счёт увеличения сопротивления окна, снижаются затраты теплоты на нагрев помещения за счёт понижения температуры воздуха внутри помещения, а в летний период снижается холодильная нагрузка на системы кондиционирования воздуха.

1. Энергосберегающий потенциал от использования теплоотражающих экранов с солнечными батареями в окнах для систем энергоснабжения зданий / Захаров В.М., Тютиков В.В., Смирнов Н.Н., Лапатеев Д.А., Фламан Б., Барба М. // Вестник ИГЭУ. – Иваново: Иван. гос. энерг. ун-т, 2015 г.. – №2. – С. 5-14.

ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА ДЛЯ ОРАНЖЕРЕИ

Е.А. Лебедева

Научный руководитель **А.А. Синицын**, канд. техн. наук, доцент

Вологодский государственный университет

г. Вологда

В соответствии с Федеральным законом от 23 ноября 2009 г. №261-ФЗ "Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» перечень мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической

эффективности должен включать в себя мероприятия по увеличению количества случаев использования в качестве источников энергии вторичных энергетических ресурсов или возобновляемых источников энергии.

С давних времен, еще до того, как лидером в мировой энергетике стало ископаемое топливо, люди нагревали воду с помощью энергии солнца. Они заметили, что поверхность, покрашенная в черный цвет, нагревается сильнее, чем светлые. Это свойство используется в солнечных коллекторах.

Сами коллекторы были разработаны около двухсот лет назад. Самый известный из них – плоский коллектор, который состоит из стекла, деревянной коробки и внутреннего нагревающегося слоя – был изготовлен в 1767 году швейцарским ученым по имени Гораций де Соссюр. Ученый тогда отметил, что конструкция "маленькая, дешевая и простая". Позднее им воспользовался для приготовления пищи сэр Джон Гершель во время своей экспедиции в Южную Африку в 30-х годах XIX века.

На практике подобные устройства начали использовать для нагрева воды ещё в конце 19 века в Южной Калифорнии. Различные фирмы производили простейшие солнечные коллекторы в виде черных баков для воды, установленных в деревянном ящике, одна из сторон которого была закрыта стеклом и обращена к солнцу [1].

Прототип современного коллектора был создан в 1909 году Вильямом Бейли из американской "Carnegie Steel Company". Он имел теплоизолированный корпус и устанавливался отдельно от бака-аккумулятора, вода в котором нагревалась через теплообменный контур, состоящий из медных труб.

В 2000-х годах, в связи с ростом цен на энергоносители, начался новый этап производства и использования солнечных коллекторов. Ежегодно устанавливается свыше 30 гигаватт. Сейчас общая мощность солнечных коллекторов мира превышает 200 гигаватт тепловой энергии.

Благодаря использованию новых материалов, основанных на передовых разработках, с каждым годом создаются всё более новые варианты солнечных коллекторов. Однако, строение плоских солнечных коллекторов остается практически без изменений, они также состоят из жесткого каркаса, утеплителя, труб, которые покрываются сверху металлическим листом с селективным покрытием и стекла.

Принцип действия коллектора заключается в том, что, пройдя через остекление, энергия солнечного излучения идет на нагрев поглощающей панели и находящуюся в ее трубопроводах воду. Плотность воды уменьшается по мере ее нагрева, поэтому, нагреваясь, жидкость начинает перемещаться по трубопроводу в верхнюю точку коллектора, создавая циркуляцию. Затем всё по тому же трубопроводу попадает в бак-аккумулятор, нагревая воду, которая в нем находится. После того, как вода нагреется до нужной температуры, она остается в баке-аккумуляторе до момента ее использования.

В случаях, когда солнечный коллектор не сможет нагревать воду до необходимой температуры (например, из-за пасмурной погоды или в зимний период), можно дополнительно использовать электрический нагреватель, так называемый дублер, чтобы он догревал воду до заданной температуры.

Проведенный анализ литературных и патентных источников позволил сформировать следующую классификацию солнечных коллекторов (рис. 1.).

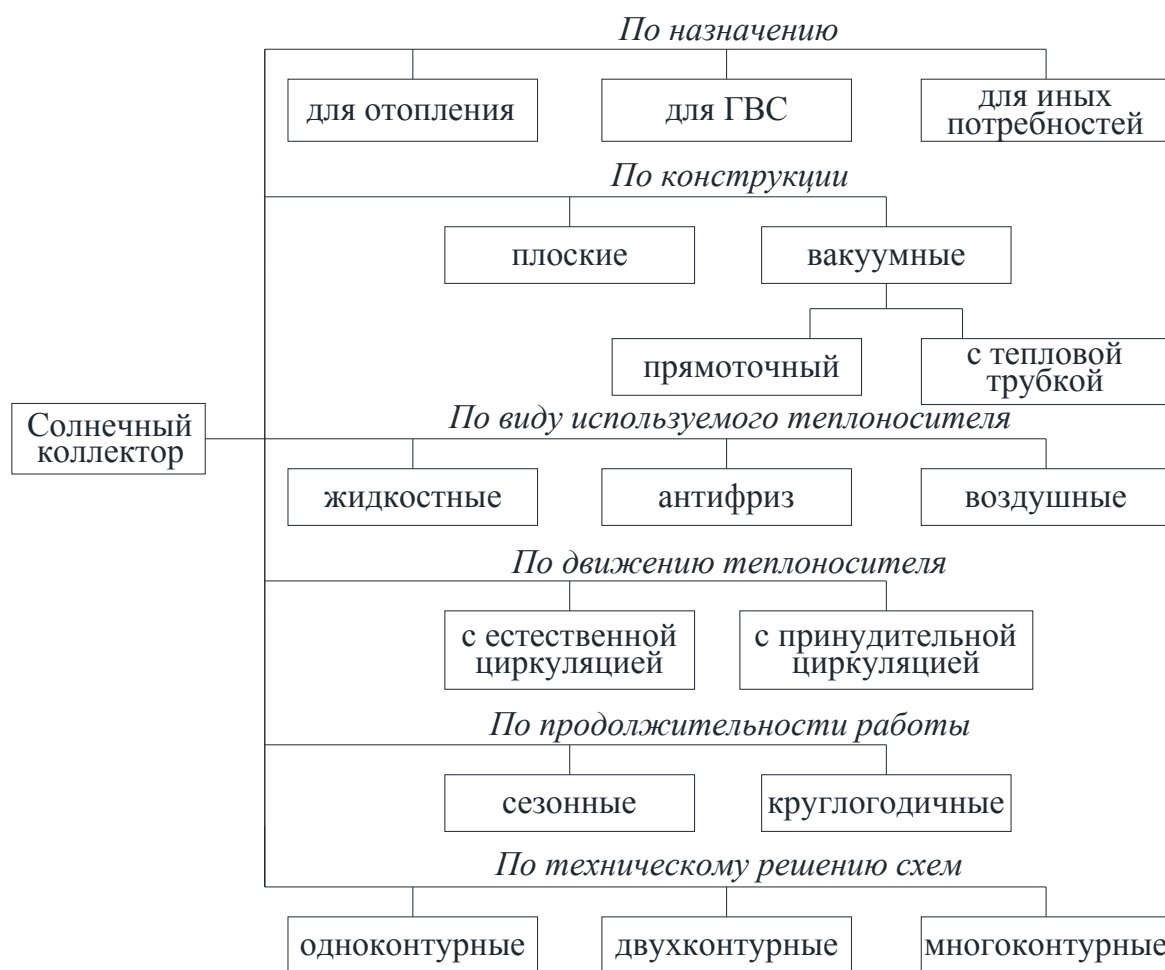


Рис. 1. Классификация солнечных коллекторов

На сегодняшний день одними из крупнейших зарубежных производителей коллекторов являются китайская компания «Yingli Green Enerdgy», занимающаяся созданием высокоэффективных коллекторов с самой низкой себестоимостью, и немецкая компания «Solarworld». В России разработкой и созданием солнечных модулей занимаются такие компании, как ООО «СоларИннТех», ЗАО «Телеком-СТВ» и другие. Также и вологодские компании, а именно ООО «Северный город» и ООО «Альтернативные технологии «Вермер», занимаются продажей и обслуживанием солнечных коллекторов.

Чаще солнечные коллекторы применяются в теплицах или оранжереях для их отопления. Широкое применение коллекторов среди дачников, кото-

рые в основном стараются создать его своими руками. Благодаря этому они получают урожай круглый год.

Патенты на системы солнечных коллекторов направлены на повышение эффективности и понижение тепловых потерь через корпус. Например, ООО «Гелиотерм» предложило коллектор, в котором на все поверхности нанесено просветляющее покрытие, увеличивающее пропускную способность материала [2]. Применение солнечных коллекторов с емкостями в корпусе выпуклой, вогнутой или выпукло-вогнутой формы, улучшают его технологичность и позволяет выдерживать значительное давление [3].

Как и у любой другой системы, у солнечных коллекторов существуют свои недостатки. К ним относятся: сложность монтажа; высокие тепловые потери; низкая работоспособность в холодное время года, в утренние и вечерние часы и в ветреную погоду; сложность ремонта; загрязнение поверхности коллектора.

В соответствии с поставленной задачей по проектированию системы подогрева горячей воды для капельного орошения почвы и полива растений в оранжерее на основе солнечного коллектора, был проведен анализ вариантов его размещения.

Предлагаемая схема установки показана на рисунке 2.

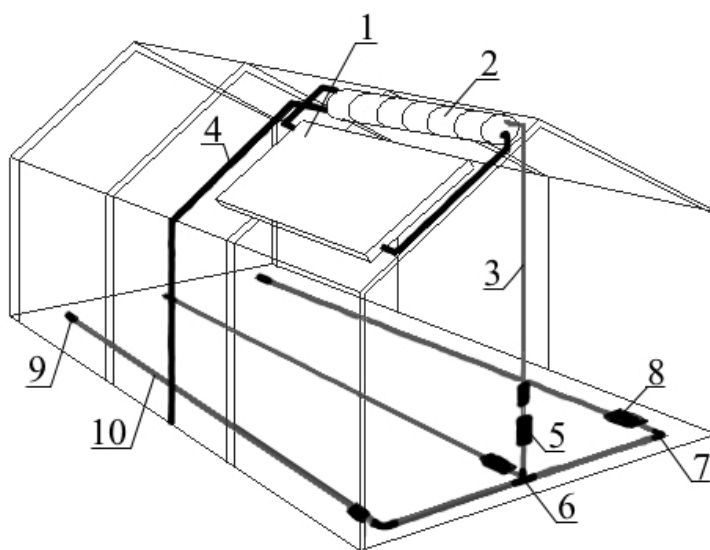


Рис. 2. Схема солнечной установки:

- 1 – солнечный коллектор; 2 – бак-аккумулятор; 3 – трубопровод горячей воды;
4 – трубопровод холодной воды; 5 – фильтр; 6 – тройник; 7 – уголок;
8 – соединение шланга с лентой; 9 – заглушка; 10 – лента капельного орошения

Необходимость нагрева воды обусловлена тем, что в оранжерее выращиваются растения, не привыкшие к климату Вологодской области. Температура воды для них должна быть на порядок выше температуры водопроводной воды, которой на данный момент осуществляется полив.

Задача полива обеспечить растения достаточным количеством воды, доставить растению требуемое количество элементов питания, создать корневой зоне растения комфортные условия.

Капельное орошение является на сегодняшний день наиболее совершенным способом полива. Особое внимание проблемам капельного орошения уделяется в странах, где хорошо развито поливное земледелие.

Примером служит Израиль: его сельское хозяйство на сегодня является одним из самых передовых в мире по производству продукции, а благодаря этой системе орошения, изобретенной в 1959 году, современный Израиль выращивает фрукты и овощи не только для своих нужд, но и для широкого экспорта.

Предварительные расчеты показали следующие характеристики установки:

- площадь коллектора – $0,5 \text{ м}^2$;
- объем бака-аккумулятора – 55 литров.

Установку предполагается смонтировать следующим образом:

- вмонтировать корпус коллектора в кровлю крыши оранжереи;
- разместить бак-аккумулятор несколько выше корпуса коллектора;
- проложить ленты капельного орошения по площади оранжереи в соответствии с уровнями и зонами водопотребления.

Направлениями дальнейшей работы станут:

- уточненный расчет площади солнечного коллектора;
- гидравлический расчет трубопроводов капельного орошения;
- согласование инженерного проекта и монтаж системы;
- проведение расчетно-экспериментальных исследований эффективности подобной системы;
- разработка технико-экономических показателей при формировании бизнес-плана внедрения подобных установок в Вологодской области.

1. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии / В. И. Ляшков, С. Н. Кузьмин // Тамбов: Издательство ТГТУ, 2003. — 72 с.

2. Патент RU№2393390 С1, МПК С 02 F 2/24. Солнечный коллектор/ А.С. Дьячишин (RU), И.М. Язвина (RU), А.В. Стадник (RU). – № 2008149288/06. – Заявлено 16.12.2008 – Решение о выдаче патента от 16.12.2008 г. – Опубл. 27.06.2010 г., Бюл. № 18. – 6 с.

3. Патент RU№2395757 С2, МПК С 02 F 2/24. Солнечный коллектор/ В.М. Харченко (RU). – № 2008106718/06. – Заявлено 21.02.2008 – Решение о выдаче патента от 21.02.2008 г. – Опубл. 27.07.2010 г., Бюл. № 21. – 7 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНТАКТНОГО ТЕПЛООБМЕНА МЕЖДУ ГОРЯЧИМ И ХОЛОДНЫМ СЛЯБОМ

К.О. Новиков

Научный руководитель С.В. Лукин, д-р техн. наук, профессор
Череповецкий государственный университет
г. Череповец

В сталеплавильном производстве ЧерМК ПАО «Северсталь» горячие стальные слябы, выходящие из машины непрерывного литья заготовок со среднемассовой температурой порядка $900\div 1000^{\circ}\text{C}$, направляются на холодный склад, где складываются в штабеля для хранения. При достаточно длительном нахождении слябов на складе, их температура становится равной температуре окружающей среды, которая в зимнее время обычно ниже 0°C . Холодные слябы часто приходится резать для получения нужного сортамента стальных заготовок перед их отправлением в прокатное производство. Перед газовой резкой холодные слябы (с температурой ниже 0°C) нужно подогреть примерно до температуры 20°C и выше.

Поскольку физическая теплота горячих остывающих слябов сейчас никак не используется, то применяется разогрев холодных слябов горячими слябами за счет контактного теплообмена. Для этого на холодный сляб сверху кладут горячий сляб, через несколько минут горячий сляб убирают, и через некоторое время производят резку холодного подогретого сляба. Чтобы при газовой резке не возникало термических напряжений, которые могут вызвать образование трещин в металле, необходимо, чтобы температурное поле разрезаемого сляба было достаточно равномерным. Для этого нужно правильно выдерживать длительности нагрева и выдержки холодного сляба после нагрева (до резки). Эти длительности зависят от толщин слябов, начальных температур холодного и горячего слябов, от способа нагрева (с одной или двух сторон), от теплофизических свойств сталей, от интенсивности теплопередачи при контактном теплообмене и потерь теплоты с поверхности слябов излучением, конвекцией и теплопроводностью.

Данную задачу можно решить с помощью численного моделирования процесса нагрева и охлаждения слябов. Рассмотрим математическую модель одностороннего нагрева холодного сляба. Слябы представим в виде плоских пластин толщиной B_1 и B_2 . При этих условиях температурное поле слябов будет одномерным и нестационарным: $t_1(x, \tau)$ и $t_2(x, \tau)$, где t_1 – температура горячего сляба; t_2 – температура холодного сляба; x – координата, перпендикулярная наружной поверхности сляба и отсчитываемая от поверхности, где происходит контактный теплообмен, причем значения x из диапазона $B_1 < x < 0$ соответствуют горячему слябу, а x из диапазона $0 < x < B_2$ – соответствуют холодному

слябу; τ – время, прошедшее с момента начала нагрева. Схема контактного теплообмена между слябами показана на рис. 1.

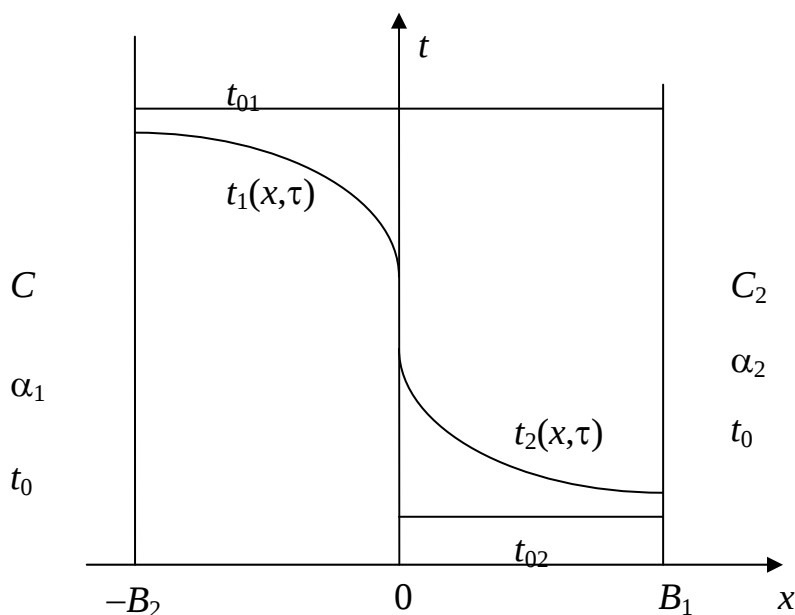


Рис.1. Схема контактного теплообмена между слябами

Поскольку поверхности слябов, как правило, покрыты слоем окалины, то между ними отсутствует идеальный контактный теплообмен, и температуры поверхностей горячего и холодного слябов вместе контакта не равны друг другу. На рис. 1 введены дополнительные обозначения: t_0 – температура окружающей среды; t_{01} , t_{02} – начальные температуры горячего и холодного слябов, причем $t_{02} = t_0$; α_1 , α_2 – коэффициенты теплоотдачи в окружающую среду, и C_1 , C_2 – коэффициенты излучения с поверхностями горячего и холодного сляба, не участвующих в контактном теплообмене.

Температурное поле слябов описывается уравнением теплопроводности [1]:

$$\begin{aligned} c_1 \cdot \rho_1 \frac{\partial t_1}{\partial \tau} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_1 \frac{\partial t_1}{\partial x} \right), \quad B_1 < x < 0, \quad 0 < \tau; \\ c_2 \cdot \rho_2 \frac{\partial t_2}{\partial \tau} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_2 \frac{\partial t_2}{\partial x} \right), \quad 0 < x < B_2, \quad 0 < \tau, \end{aligned} \quad (1)$$

где c , ρ , λ – теплоемкость, плотность и коэффициент теплопроводности стали, зависящие от температуры; индексы «1» и «2» относятся к горячему и холодному слябу соответственно.

Начальное условие для температурного поля слябов имеет вид:

$$\begin{aligned} t_1(x, \tau) \Big|_{\tau=0} &= t_{10}, \quad B_1 < x < 0; \\ t_2(x, \tau) \Big|_{\tau=0} &= t_{20}, \quad 0 < x < B_2, \end{aligned} \quad (2)$$

где $t_{01} = 500 \div 900$ °C – температура горячего сляба; $t_{02} = -30 \div 0$ °C – температура холодного сляба.

На поверхности слябов, участвующих в контактном теплообмене, задается граничное условие IV-ого рода:

$$-\lambda_1 \frac{\partial t_1}{\partial x_1} \Big|_{x=0} = -\lambda_2 \frac{\partial t_2}{\partial x_2} \Big|_{x=0} = k \cdot (t_1(0, \tau) - t_2(0, \tau)), \quad 0 < \tau_1, \quad (3)$$

где k – коэффициент теплопередачи при контактном теплообмене. При идеальном контакте $k \rightarrow \infty$, и температуры поверхностей слябов, участвующих в контактном теплообмене (при $x = 0$), принимают одинаковые значения:

$$t_1(0, \tau) = t_2(0, \tau), \quad 0 < \tau_1,$$

где τ_1 – длительность процесса контактного теплообмена.

На поверхностях слябов, не участвующих в контактном теплообмене, задаются граничные условия III-ого рода, причем для горячего сляба важную роль играет теплообмен излучением, а для холодного – конвективный теплообмен, что можно записать следующим образом:

$$\begin{aligned} -\lambda_1 \frac{\partial t_1}{\partial x_1} \Big|_{x=-B_1} &= C_1 \left(\left(\frac{T_1(-B_1, \tau)}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_0}{100} \right)^4 \right), \quad 0 < \tau; \\ -\lambda_2 \frac{\partial t_2}{\partial x_2} \Big|_{x=B_2} &= \alpha_2 (t_2(B_2, \tau) - t_0), \quad 0 < \tau, \end{aligned} \quad (4)$$

где $T_1(-B_1, \tau)$, T_0 – абсолютные температуры поверхности горячего сляба, не участвующей в контактном теплообмене; $t_2(B_2, \tau)$ – температура поверхности холодного сляба, не участвующей в контактном теплообмене.

После окончания процесса контактного теплообмена, на поверхностях горячего и холодного слябов, задаются граничные условия III-ого рода:

$$\begin{aligned} -\lambda_1 \frac{\partial t_1}{\partial x_1} \Big|_{x=0} &= C_1 \left(\left(\frac{T_1(0, \tau)}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_0}{100} \right)^4 \right) + \alpha_1 (t_1(0, \tau) - t_0), \quad \tau_1 < \tau < \tau_1 + \tau_2; \\ -\lambda_2 \frac{\partial t_2}{\partial x_2} \Big|_{x=0} &= C_2 \left(\left(\frac{T_2(0, \tau)}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_0}{100} \right)^4 \right) + \alpha_2 (t_2(0, \tau) - t_0), \quad \tau_1 < \tau < \tau_1 + \tau_2, \end{aligned} \quad (5)$$

где τ_2 – длительность выдержки холодного сляба после окончания процесса нагрева до момента резки.

Система дифференциальных уравнений (1)-(5) решалась численным методом по явной конечно-разностной схеме. Рассмотрим результаты расчета температурных полей горячего и холодного слябов при следующих данных: $B_1 = B_2 = 315$ мм; сталь Ст-20; $t_0 = -30$ °C; $t_{01} = 800$ °C; $t_{02} = -30$ °C; $C_1 = C_2 = 4,5$ Вт/(м²К⁴); $\alpha_1 = \alpha_2 = 10$ Вт/(м²К); $k = 1000$ Вт/(м²К); $\tau_1 = 5$ мин; $\tau_2 = 30$ мин.

На рис. 2 показано изменение температур на поверхностях горячего и холодного слябов в процессе контактного теплообмена и выдержки на воздухе. Из рис. 2 следует, что после начала контактного теплообмена между слябами температура поверхности горячего сляба, участвующая в теплообмене, за 5 мин быстро снижается от значения 800°C до 450°C , а температура поверхности холодного сляба, участвующая в теплообмене – так же быстро возрастает от значения -30°C до 300°C . Температура свободной поверхности горячего сляба за это время уменьшается от 800°C до 715°C , температура свободной поверхности холодного сляба практически не изменяется.

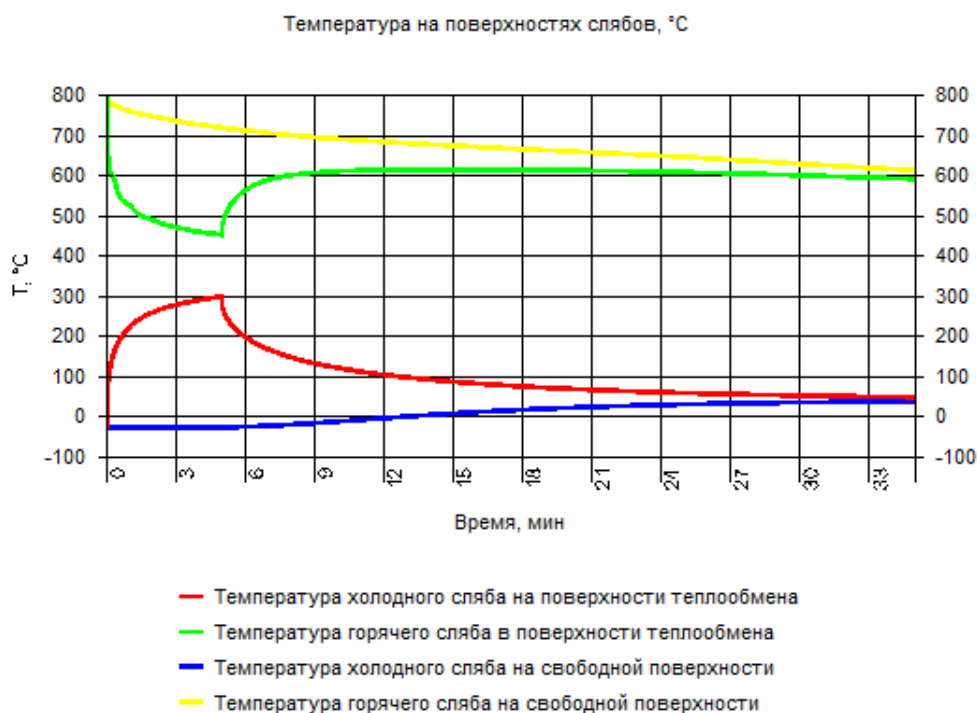


Рис. 2. Изменение температур горячего и холодного слябов

После того, как процесс контактного теплообмена прекращается, температура поверхности горячего сляба, участвовавшая в теплообмене, за 4 мин возрастает до значения 610°C , после чего начинает медленно уменьшаться. Температура свободной поверхности горячего сляба непрерывно уменьшается, при этом разность температур на его разных поверхностях постепенно стремится к нулю. При этом среднемассовая температура холодного сляба в течение рассматриваемого времени практически не изменяется, держась на значении 40°C . Через 15 мин после окончания процесса нагрева, перепад температур по сечению холодного сляба составляет 50°C , через 20 мин – 30°C , через 25 мин – 20°C , через 30 мин – 10°C .

Разработанная математическая модель нуждается в адаптации, после чего ее можно использовать для исследования и совершенствования режимов нагрева слябов за счет контактного теплообмена.

1. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. Учебник для вузов, изд-е 3-е // М.: «Энергия». – 1975. – 488 с.

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОРОШЕНИЯ РАСТЕНИЙ

М.Л. Обрядина

Научный руководитель А.А. Синицын, канд. техн. наук, доцент

Вологодский государственный университет

г. Вологда

Начиная с 2014 года, Президент РФ своим указом [1] запретил ввозить в Россию сельскохозяйственную продукцию из стран, которые поддержали решение о введении санкций в отношении России. Сейчас на территории страны активно действует программа импортозамещения, рассчитанная до 2020 года. Поэтому подобная разработка будет актуальна организациям, осуществляющим свою сельскохозяйственную деятельность.

В экономике России сельскохозяйственное производство в наибольшей степени зависит от возможных климатических условий.

Россия – это огромная страна, расположенная в различных климатических зонах, начиная от субтропиков в Сочи и Крыму до арктических пустынь на севере. Немалую площадь занимают тундра и зона «вечной мерзлоты», именно поэтому Россия считается одной из самых холодных стран мира со среднегодовой температурой воздуха $-5,5^{\circ}\text{C}$. Невозможность выращивания растений в районах с такими температурными условиями очевидна.

В то же время, в южных российских регионах достаточно мягкий климат, который в целом весьма благоприятен.

В связи с этим большая часть урожая и земель, отведенных для растениеводства, приходится на районы с субтропическим или умеренно-континентальным климатом (Краснодарский край, Ростовская область, Республика Крым, Алтайский край, Ставропольский край), но и они характеризуются высокими дневными температурами и низкой влажностью воздуха, что снижает объем выращиваемых продуктов без применения некоторых затрат по мелиорации земель.

На юге России растениеводство является исключительно выгодным бизнесом. Но существуют некоторые проблемы, стоящие перед сельским хозяйством в таких районах – засуха, низкое плодородие почв, сорняки, глобальное потепление, вызванное изменением климата. По оценкам специалистов воздействие на сельское хозяйство глобального потепления будет неоднозначным, позитивные последствия могут сочетаться с негативными. Из-за повышения температуры воздуха и нерегулярного выпадения осадков в сельскохозяйственной отрасли необходимо применять дополнительное орошение.

Применение специальных устройств для орошения растений в условиях высокой температуры и низкой влажности воздуха позволит уменьшить риск гибели урожая и избежать истощения почвы. В результате понижается темпе-

ратура приземного слоя воздуха и увеличивается его влажность, влага задерживается в почве намного дольше.

Еще в древнейшие времена люди начали свою земледельческую практику в дельтах больших равнинных рек, где почва отличалась небывалым плодородием. Около 3-го тыс. до н.э. в Египте начали строиться первые ирригационные системы в виде оросительных каналов и водоемов. Следом начали создаваться простые механические устройства (Архимедов винт, водяное колесо), которые упрощали подачу воды для орошения, возводились дамбы и плотины для накопления воды.

В настоящее время существует огромное разнообразие устройств для орошения растений. Все они отличаются как по принципу действия, так и по конструкции. Наиболее распространенные из них по принципу действия можно разделить на 3 класса. На рисунке приведена схема такой классификации.



Рис. Классификация устройств для орошения растений по принципу действия

Наиболее распространены автоматические системы орошения. Но они имеют ряд недостатков, таких как большие энергетические потери и количество нормочасов на обслуживание сложного оборудования. Требуются внушительные временные ресурсы на обучение молодых специалистов для обслуживания сложных установок. Таким образом, использование имеющихся на сегодняшний день установок по орошению не всегда экономически обосновано.

В настоящей работе предложено принципиально новое устройство для орошения, способное по многим своим характеристикам превзойти имеющиеся в современном использовании установки.

Аналогом данного устройства является садово-огородная воронка [2], которая также осуществляет сбор и подачу влаги к корням саженцев. Но в от-

личие от предлагаемой модели имеет низкую производительность по количеству конденсируемой влаги вследствие отсутствия свободного доступа под воронку влажного воздуха.

Таким образом, данное устройство разработано с целью получения высокого урожая. Применение подобных устройств в сельскохозяйственных районах России позволит существенно снизить финансовые расходы на мелиорацию земель. Сэкономленные в результате использования данного устройства средства могут быть направлены, например, на развитие животноводства в регионах или другие отрасли сельского хозяйства нашей страны.

Предлагаемая модель состоит из корпуса, изготовленного из прозрачного или непрозрачного пластика, торообразной формы, усеченного в нижней части. В корпусе посредством фиксаторов крепится абсорбционный слой из хорошо впитывающего влагу материала, а над ним устанавливается конденсационный слой из высокопористого материала, обладающего хорошей теплопроводностью. В центральной части корпуса, а также конденсационном и абсорбционном слоях имеются отверстия, в которых располагают орошаемое растение. Между стенкой корпуса и слоями имеется зазор для стока капель сконденсированной влаги. В нижней части корпуса расположены вентиляционные отверстия.

Действие устройства для орошения растений основано на принципе конденсации присутствующей в ночное время в атмосферном воздухе влаги и ее дальнейшего использования для орошения. В ходе дальнейших исследований необходимо будет изучить процессы тепломассопереноса: а) влаги из атмосферного воздуха внутрь устройства; б) во влагоаккумулирующем материале внутри устройства; в) в грунте под устройством.

Данные процессы уже рассматривались в работах российских ученых [3]. Влажный прохладный воздух преимущественно в ночное и утреннее время попадает внутрь устройства через отверстие в корпусе. Далее проходит через конденсационный и абсорбционный слои и выходит сквозь вентиляционные отверстия в корпусе, но при этом атмосферный воздух охлаждается (конденсируется) при контакте с конденсационным слоем и собирается в абсорбционном слое. Выделенное тепло при конденсации влаги отводится в атмосферу. Днем за счет воздействия высокой температуры впитанная влага медленно испаряется и далее процесс повторяется.

Предлагаемое устройство имеет следующие конкурентные преимущества:

- простая конструкция, простота в эксплуатации;
- отсутствие регулярного полива и отслеживания систем автоматики;
- легко переносимое и компактное устройство;
- ценовая доступность и долговечность;
- экономия воды, электроэнергии, трудозатрат человека.

Сущность устройства заключается в следующем:

- сбор и передача влаги в прикорневую зону растения;

– консервация влаги в прикорневом пространстве растения (ветер и прямые солнечные лучи способствуют мгновенному испарению (выветриванию) влаги с поверхности земли, наличие закрытой зоны замедляет процесс выветривания);

– регенерация (восстановление) влаги в прикорневом почвенном слое;

– изоляция стебля и корней растения от вредных факторов (перепад температур, ветер);

– защита корневой системы и самого растения от различных вредителей.

В ходе дальнейших исследований могут быть выделены следующие направления, представляющие наибольший теоретический и практический интерес:

– разработка физической модели процесса конденсации влаги из воздуха;

– построение математической модели данного процесса;

– экспериментальные исследования в лабораторных условиях;

– экспериментальные исследования в натуральных условиях;

– разработка опытно-промышленной модели устройства и проработка бизнес-плана для реализации подобных устройств на нужды реального сектора экономики РФ и за ее пределами.

1. О применении отдельных специальных экономических мер в целях обеспечения безопасности Российской Федерации: Указ Президента РФ от 06.08.2014 №560// Российская газета.– 2014.– 8 августа.– С. 4.

2. Пат. 79747, МПК А 01 С 14/00. Садово-огородная воронка/ В.В. Зеленков; заявитель и патентообладатель В.В. Зеленков.– № 2008133333/22; заяв. 05.08.2008; опубл. 20.01.2009.–Б.и.–2009.–№ 2.

3. М.В. Павлов, Д.Ф. Карпов, А.А. Сеницын. Исследование процессов теплопереноса в слое почвы на примере фрезерного торфа при инфракрасно-лучистом обогреве[Электронный ресурс]: научная электронная библиотека.– Режим доступа: <http://elibrary.ru/>

РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ

С.А. Попов

Научный руководитель В.А. Петринчик, канд. техн. наук, доцент
Вологодский государственный университет
г. Вологда

Энергосбережение и энергоэффективность являются одними из наиболее приоритетных направлений развития экономики многих стран мира. Для России вопрос энергетического развития стоит очень остро, так как именно мы обладаем значительными запасами энергетических ископаемых и возобновляемых источников, однако неэкономно их потребляем [1].

Россия является самой большой по территории страной мира, следовательно, климатические условия из-за значительных размеров довольно разнообразны. Мы живем при перепадах температур от -40°C до $+35^{\circ}\text{C}$, именно поэтому огромное значение имеет обеспечение потребителей тепловой энергией в должном количестве.

Немалая часть котельных построена еще в советское время с огромным размахом и сейчас работают неэффективно. Важнейшим компонентом любой системы централизованного теплоснабжения являются тепловые сети. В транспортировку тепловой энергии вкладываются огромные средства, которые соизмеримы со стоимостью строительства крупных котельных и ТЭЦ. В России насчитывается более 220 тыс. км в двухтрубном исчислении тепловых сетей.

По разным оценкам общая доля тепловых потерь в тепловых сетях составляет около 30%. Одной из причин этой проблемы является завышенный диаметр трубопроводов тепловой сети. Если завышение диаметров магистральных трубопроводов еще как-то оправдано запасом для развития системы теплоснабжения и присоединения в дальнейшем новых объектов, то завышение диаметров отводящих трубопроводов является причиной неоправданных потерь тепловой энергии в тепловых сетях.

Одним из способов повышения эффективности данной системы теплоснабжения является уменьшение диаметров существующих трубопроводов. Необходимо произвести замену старых труб, желательно на трубы с пенополиуретановой изоляцией, в связи с их долговечностью, простотой монтажа и низкими теплопотерями.

Наиболее перспективным является снижение диаметра трубопроводов ТС путём замены используемых отводящих трубопроводов на трубопроводы меньшего диаметра при аварийных или планово-предупредительных ремонтах. Такой подход позволит оптимизировать систему теплоснабжения, сохранив потенциал ТС по транспортировке тепловой энергии на случай подключения новых потребителей, окажет наименьшее влияние на существующую систему теплоснабжения.

Сущность способа заключается в прокладке нового прямого или обратного отводящего трубопроводов, осуществляемой путем установки трубопроводов меньшего диаметра. При этом диаметр устанавливаемых трубопроводов выбирают таким образом, чтобы гидравлическое сопротивление прямого и обратного трубопровода было максимально приближено к гидравлическому сопротивлению сужающего устройства, но не превышало его. Преимущество отдаётся подающим трубопроводам, так как их потери тепловой энергии больше ввиду более высокой температуры проходящего по ним теплоносителя.

К установке принимаются трубопроводы с ближайшим по значению большим внутренним диаметром.

Снижение диаметра отводящих трубопроводов ведёт к снижению общей поверхности трубопроводов ТС и увеличению скорости движения в них теплоносителя, а, следовательно, приводит к снижению потерь тепловой энергии.

Необходимо отметить, что некоторые участки тепловых сетей обладают завышенным диаметром трубопроводов, что обусловлено перспективными планами развития ТС. В этом случае снижение диаметров участков тепловой сети следует проводить в соответствии с учётом дальнейшего увеличения тепловой нагрузки.

Ещё одним важным аспектом реализации указанного мероприятия является увеличение скорости движения теплоносителя по трубопроводам ТС, что может привести к возникновению повышенного уровня шума и вибрации трубопроводов. Согласно работе [2], оптимальное значение скорости теплоносителя в тепловых сетях, которое не повышает уровень шума $v = 1,5 \text{ м/с}$. При возникновении таких явлений необходимо предусмотреть установку антивибрационных компенсаторов, позволяющих развязать систему теплоснабжения здания от негативных последствий снижения диаметров трубопроводов.

Предлагаемая методика позволяет предприятию теплоснабжения составить план реконструкции тепловой сети, предполагающий при аварийных или планово-предупредительных ремонтах замену используемых трубопроводов на трубопроводы меньшего диаметра. Её использование позволяет снизить тепловые потери ТС в среднем на 20 – 25 % за счёт снижения среднего диаметра трубопроводов сети.

Экономию отводящих трубопроводов рассчитывают в предположении, что новые трубопроводы выбираются меньшего диаметра (рекомендованного ранее) и разность, вычисленная в рублях, считается экономическим эффектом замены.

В качестве примера оценим средний размер диаметра трубопровода тепловой сети для сельского населенного пункта Вологодской области – Тарногский Городок.

$$D_{cp} = \frac{D_1 \cdot l_1 + D_2 \cdot l_2 + \dots + D_n \cdot l_n}{\sum l}, \text{ мм}, \quad (1)$$

где D_i – диаметр i -го участка, мм;

l_i – длина i -го участка, м;

$\sum l$ – суммарная длина участка, м.

Отсюда получаем $D_{cp} = 86 \text{ мм}$.

Расчетный расход теплоносителя определяется по формуле:

$$G = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot v_{opt}, \text{ м}^3 / \text{ч}, \quad (2)$$

где d – оптимальный диаметр, м;

v_{opt} – оптимальная скорость движения теплоносителя, м/с.

Вычислим скорость теплоносителя для села Тарногский Городок.

Найдем скорость движения сетевой воды на каждом участке трубопровода по формуле:

$$v = \frac{4 \cdot G_q}{3,14 \cdot d^2 \cdot 3600}, \text{ м/с}, \quad (3)$$

где G_q – расчетный расход сетевой воды на участке, т/ч;

d – фактический диаметр расчетного участка трубопровода, м.

По результатам расчетов строим диаграмму.

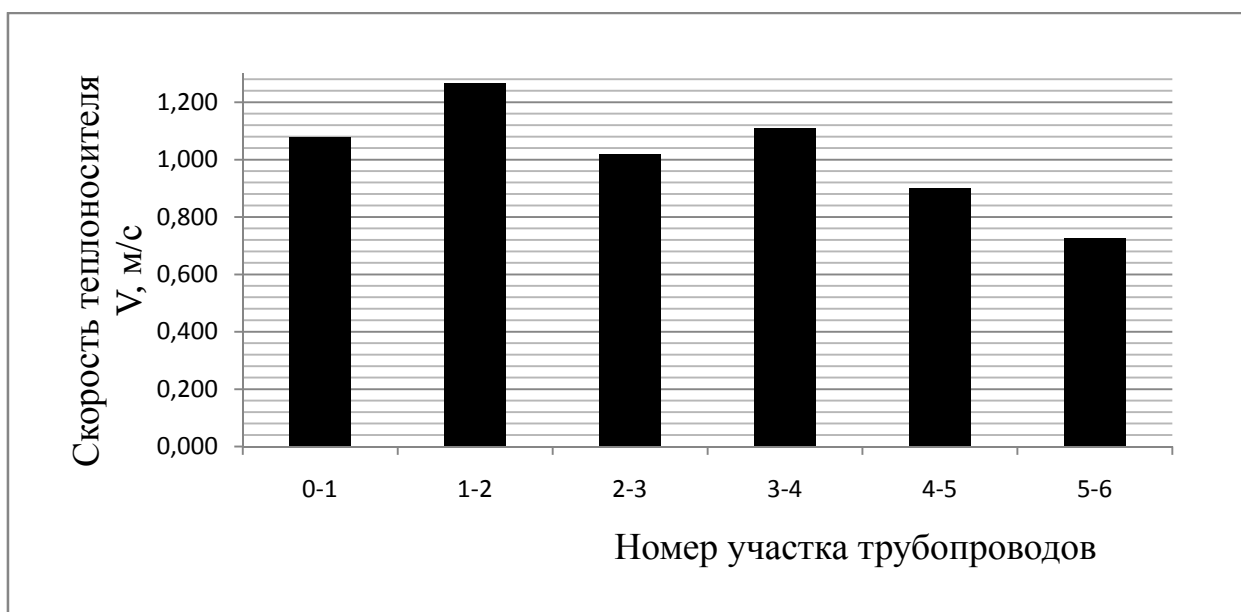


Рис. Скорость движения теплоносителя в магистральном трубопроводе

Из диаграммы видно, что средняя скорость теплоносителя, равная $v_{cp} = 0,98$ м/с, меньше рекомендуемой скорости в $v_{omm} = 1,5$ м/с. Скорость на отводящих трубопроводах из-за небольшого расхода явно так же будет меньше рекомендуемой скорости, что еще раз подтверждает завышение диаметров.

Учитывая предложения [4], можно рекомендовать отводящие трубопроводы $d = 32$ мм.

В ходе анализа ситуации по тепловой сети в с. Тарногский Городок в целом, было обнаружено, что существующие диаметры трубопроводов значительно превышают рекомендуемые (оптимальные), поэтому предлагается осуществить их замену. На большинстве участков отводящих трубопроводов принимается рекомендуемый диаметр равный 32 мм.

1. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: федер. закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ (ред. от 13.07.2015). – Москва: 2009. – 94 с.

2. О теплоснабжении: федер. закон от 27.07.2010 № 190-ФЗ (ред. от 28.11.2015). – Москва, 2010. – 115с.

3. Петринчик, В.А., Мусинов, Д.О. Энергосбережение в тепловых сетях (Часть1): учеб. пособие/ В.А. Петринчик, Д.О. Мусинов. – Вологда: ВоГТУ, 2005. – 53 с.

4. СП 124.13330.2012. Свод правил. Тепловые сети: актуализированная редакция СНиП 41-02-2003: утв. Минрегионом РФ 30.06.2012 №280.– Введ. 01.01.2013.– Москва: ФАУ «ФЦС», 2012. –81 с.

К РАЗРАБОТКЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА ПО ИЗУЧЕНИЮ ВЛИЯНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА СТРУКТУРУ ГАЗОВОГО ТОПЛИВА

Д.О. Русаков

Научный руководитель А.А. Синицын, канд. техн. наук, доцент
Вологодский государственный университет
г. Вологда

Проблема экономии в использовании газообразного топлива, а также экологические проблемы, связанные с продуктами его сгорания, несгоревший углеводород (СН) и вещества, которые отравляют окружающую среду, например, угарный газ (СО), относятся к наиболее актуальным на сегодняшний день проблемам. Согласно закону от 23 ноября 2009 г. N 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», а также

федеральному закону от 9 июля 2010 г. о «Теплоснабжении», и «Энергетической стратегии России в период до 2030 г» энергосбережения и повышение энергетической эффективности основывается на следующих принципах:

- 1) Эффективное и рациональное использование энергетических ресурсов;
- 2) Системность и комплексность проведения мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности;
- 3) Использование энергетических ресурсов с учетом ресурсных, производственно-технологических, экологических и социальных условий.

Новые технологии позволят существенно повысить экономическую эффективность и экологические показатели, что и определяет актуальность разработки конструкции лабораторной установки по влиянию магнитного поля на свойства газа перед его сжиганием.

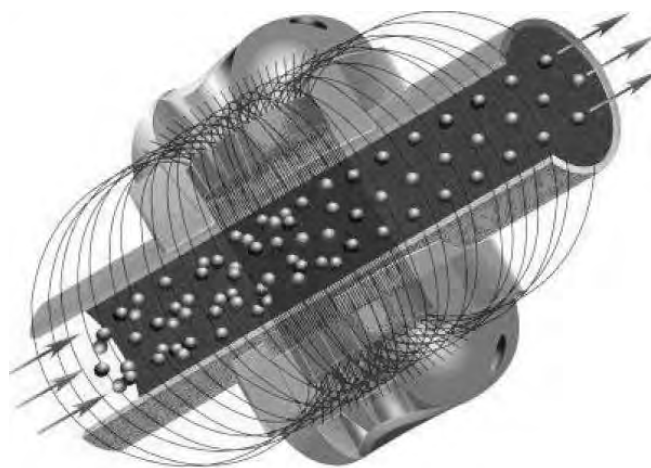


Рис. 1. Влияние магнитного поля на структуру топлива

Для достижения поставленной цели необходима разработка лабораторной установки, на которой должны быть отработаны режимы работы и варианты применения магнитной активации на движущийся поток топлива. На основании сравнения данных будут сделаны выводы о целесообразности применения подобных устройств в промышленных установках.

Известна разработка конструкции установки для исследования влияния на свойства природного газа импульсного магнитного поля в процессе его горения, выполненная научной группой Херсонской государственной морской академии (Украина). Установка была апробирована и позволяла фиксировать изменение температуры сгорания газа и состава продуктов горения с помощью газоанализатора (ИНФРАКАР-М) при воздействии на газ импульсным магнитным полем разной силы и продолжительности. Представлен внешний вид установки, её схема и описание. Однако, результаты исследования эффективности сгорания топлива опубликованы не были.

Известны результаты исследования влияния на свойства природного газа магнитного поля опытно-конструкторского внедренческого предприятия «ИННОВА-ОРТО» (Россия). В газовом орто-модификаторе под воздействием мощного магнитного поля происходит наиболее полное сгорание энергоносителя и в связи с этим повышается теплоэффективность процесса горения до 25%, в зоне пламени не образуется копоти и сажи, повышается теплообмен оборудования, значительно сокращаются вредные выбросы в атмосферу до 70%, экономится до 25% газа. Орто-модификаторы для магистрального котельного газового оборудования, работающего на природном газе, находятся в стадии разработки.

В работе [1] проводились исследования эффективности сгорания газового топлива в опытно-промышленном котле, а в работах [2], [3] представлены результаты влияния магнитного поля на структуру газового топлива.

Исследование проводилось на опытном образце ОРТО-модификатор ОМТ-5. Устройство при помощи шланга было подключено к газовому баллону с одной стороны, и к газовой горелке с другой.

Поток обрабатываемого газа, поступающий из газового баллона, через входной штуцер модификатора поступал в корпус, где происходило разделение на два потока. Потoki двигались навстречу друг другу и активно сталкивались. Далее происходил разворот на заданный угол α . Таким образом, обрабатываемый газ двигался зигзагообразно по проточному каналу и перпендикулярно силовым линиям магнитного поля. Далее поток турбулизировался за счет гидродинамического сопротивления, обусловленного формой проточного канала. В турбулентном потоке группы молекул интенсивно сталкивались, что приводило к их частичному распаду, уменьшению вязкости и увеличению объемной доли газа, и, в конечном итоге, повышению активности топлива в окислительных реакциях. Газ, обработанный магнитным полем, через выходной штуцер выходил из корпуса и поступал в горелку.

Таким образом, экспериментально получено, что применение магнитных дисков из сплава неодим-железо-бор позволило снизить расход топлива на 12%, при этом магнитное поле влияло на характер пламени [2].

Главными недостатками проводимого исследования являются:

- 1) Невозможность выставления постоянного давления во время протекания всего опыта.
- 2) Отсутствие в схеме установки устройства для измерения расхода газа.
- 3) Возможная разгерметизация установленного модификатора и проскок пламени.
- 4) Отсутствие управления режимами работы модификатора.
- 5) Невозможность определения калориметрических показателей эффективности сгорания топлива или их альтернативных аналогов.

Для устранения существующих недостатков предложена следующая схема нового лабораторного стенда.

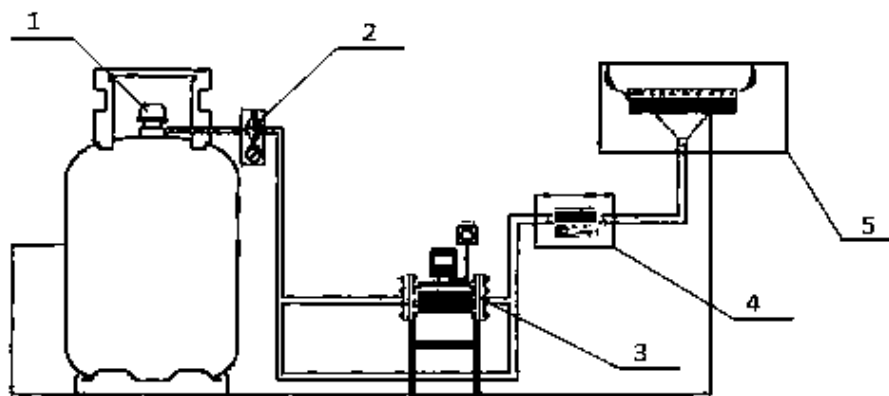


Рис. 2. Схема лабораторного стенда:

- 1 – газовый баллон с предохранительным клапаном;
2 – редуктор с регулятором давления; 3 – модификатор;
4 – расходомер газа; 5 – газовая горелка*

Установка снабжена газовым баллоном с предохранительным клапаном 1, газовым редуктором с регулятором давления 2, двумя линиями топливопроводов. Магнитное поле создается активатором 3, установлен расходомер газа 4, сгорание газа осуществляется на горелке 5. Для модификатора, внедренного в лабораторный стенд, предполагает использовать различную силу магнитных импульсов и продолжительность воздействия на газ.

Ставятся следующие задачи:

- 1) Разработка лабораторного стенда по влиянию магнитного поля на свойства газа перед его сжиганием.
- 2) Проведение расчетно-экспериментальных исследований эффективности воздействия магнитного поля на топливо.
- 3) Разработка опытного образца модификатора по результатам исследования.

1. Сеницын, А.А. Пульсирующее горение / Сеницын А.А // Энергия: экономика, техника, экология. – 2007. – № 1. – С. 80.

2. Русаков, Д.О. Исследование эффективности сгорания газового топлива при воздействии на него магнитного поля / Русаков Д.О. // Novainfo. – 2016. – № 47-2. – С. 19–26.

3. Русаков, Д.О. Магнитная обработка газового топлива / Русаков Д.О. // European research. – 2016. – № 6. – С. 33–36.

СИСТЕМА КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО МИКРОКЛИМАТА НА ТРЕНАЖЁРЕ БЩУ АЭС

А.С. Сафронов, П.А. Комарницкий

Научные руководители: В.К. Пыжов, канд. техн. наук, профессор

Н.Н. Смирнов, доцент

Ивановский государственный энергетический университет

им. В.И. Ленина»

г. Иваново

Для поддержания работоспособности персонала в помещении создаётся микроклимат с оптимальными метеорологическими параметрами при использовании систем кондиционирования воздуха (СКВ). Однако в помещениях высокого уровня ответственности, как пульты управления АЭС (блочный щит управления), только создания микроклимата недостаточно. Монотонная работа, требующая внимательности и оказывающая нервно-эмоциональную нагрузку, может привести к утомлению работника и снижению его работоспособности, а далее к непоправимым последствиям.

Данная проблема может быть решена путем создания системы кондиционирования «динамического микроклимата» [1]. Эта система создаёт периодические изменения метеорологических параметров воздуха, таких как температура, влажность и скорость потока. Изменения должны поддерживать концентрацию внимания персонала, не допуская его утомления, а также не превышать критических значений.

В предыдущих работах [2] авторами рассматривались процессы перехода из рабочего режима отопления в дежурный режим отопления при предварительной осушке воздуха, которые так же являются динамическими и удовлетворяют концепции создания систем динамического микроклимата.

Решением же задачи создания систем кондиционирования «динамического микроклимата» занимались несколько учёных. А.В. Гараниным впервые были рассчитаны параметры допустимого динамического микроклимата и приточного воздуха для промышленного здания, а также разработаны алгоритмы и составлены математические модели, учитывающие некоторые внешние и внутренние воздействия на здание [3]. Однако характеры влагопереноса и воздухообмена остались не исследованными. Поэтому необходимость создания математической модели, учитывающей закономерности влагопереноса и характер распространения воздушных потоков в помещении, остаётся актуальной.

Полученное уравнение теплового баланса, составленное А.В. Гараниным [3], представлено ниже.

$$\frac{dQ_{\text{ок}}}{d\tau} + \frac{dQ_{\text{стен}}}{d\tau} + \frac{dQ_{\text{пол}}}{d\tau} + \frac{dQ_{\text{покр}}}{d\tau} + \frac{dQ_{\text{инф}}}{d\tau} + \frac{dQ_{\text{оборуд}}}{d\tau} + \frac{dQ_{\text{осв}}}{d\tau} + \frac{dQ_{\text{люд}}}{d\tau} + \frac{dQ_{\text{предм}}}{d\tau} + \frac{dQ_{\text{инсол}}}{d\tau} + \frac{dQ_{\text{уд.в-х}}}{d\tau} + \frac{dQ_{\text{СКВ}}}{d\tau} + \frac{dQ_{\text{вн.в-х}}}{d\tau} = 0; \quad (1)$$

где $\frac{dQ_{\text{ок}}}{d\tau}$, $\frac{dQ_{\text{стен}}}{d\tau}$, $\frac{dQ_{\text{пол}}}{d\tau}$, $\frac{dQ_{\text{покр}}}{d\tau}$, $\frac{dQ_{\text{инф}}}{d\tau}$, $\frac{dQ_{\text{оборуд}}}{d\tau}$, $\frac{dQ_{\text{осв}}}{d\tau}$, $\frac{dQ_{\text{люд}}}{d\tau}$, $\frac{dQ_{\text{предм}}}{d\tau}$, $\frac{dQ_{\text{инсол}}}{d\tau}$, $\frac{dQ_{\text{удал.в-х}}}{d\tau}$, $\frac{dQ_{\text{вн.в-х}}}{d\tau}$, $\frac{dQ_{\text{СКВ}}}{d\tau}$ – тепловой поток во времени соответственно через окна, стены, пол, покрытие, с инфильтрацией, от оборудования, освещения, людей, предметов, инсоляции, удаляемого и внутреннего воздуха, в СКВ.

Целью работы является создание системы уравнений, описывающих процессы теплообмена и распределение воздушных потоков в помещении тренажёра блочного щита управления (БЩУ). Необходимо также создать математическую модель, отражающую все эти уравнения, в программном комплексе Comsol Multiphysics. Ниже представлена упрощённая модель тренажёра БЩУ АЭС (рис.1, рис. 2, рис. 3).

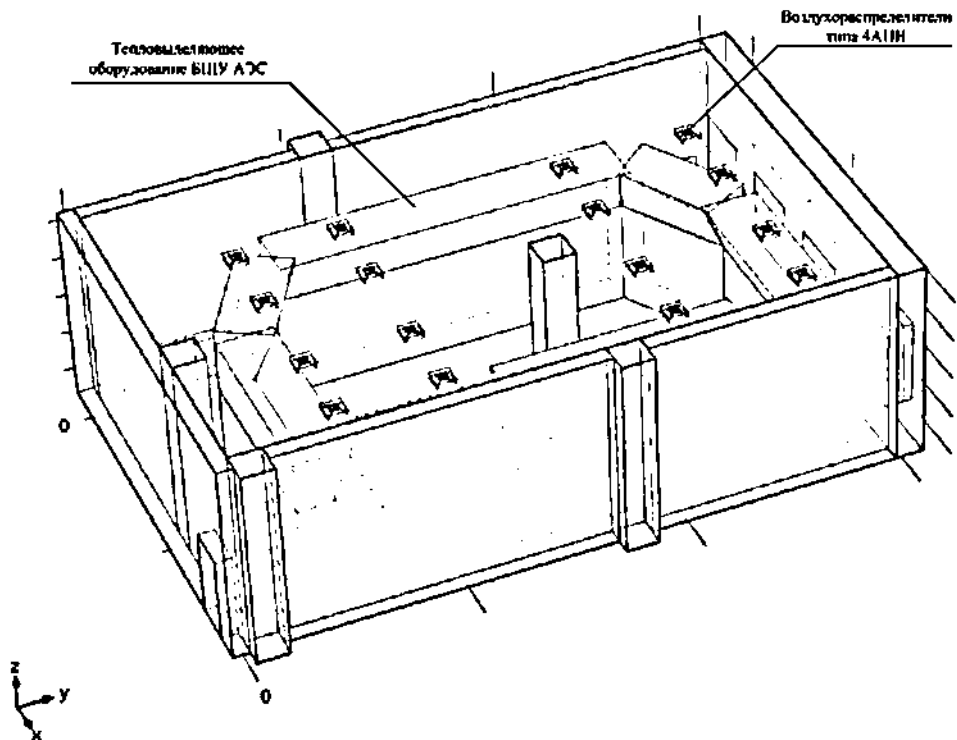


Рис. 1. Общий вид тренажёра БЩУ АЭС

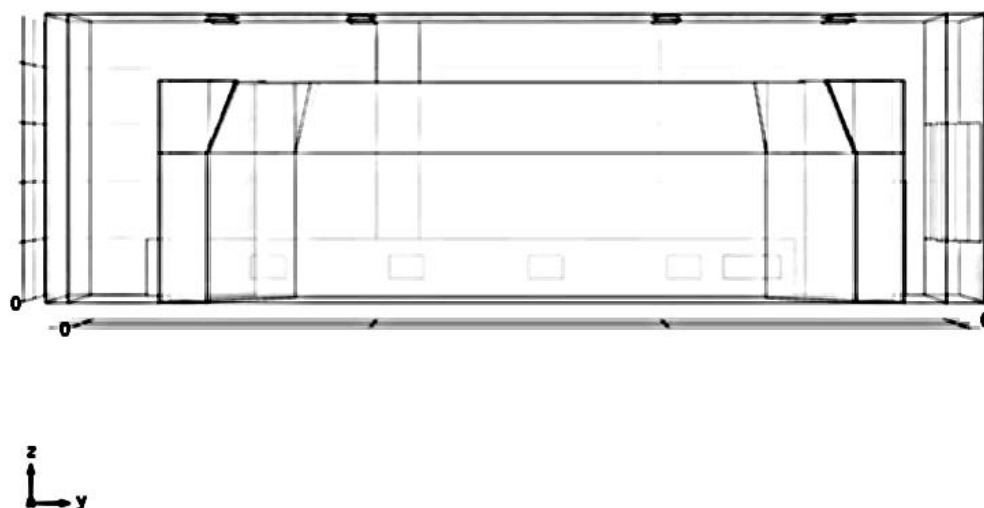


Рис.2. Модель тренажёра БЩУ АЭС (вид сбоку)

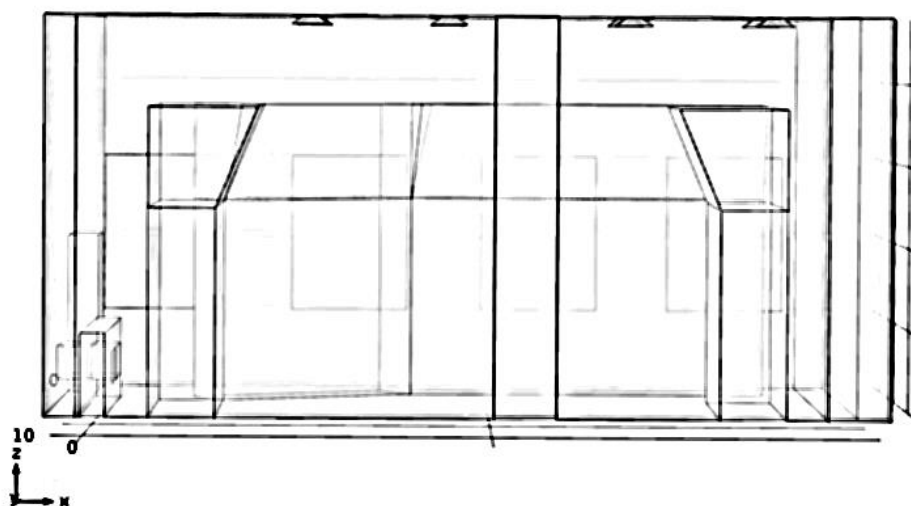


Рис. 3. Модель тренажёра БЩУ АЭС (вид слева)

Для расчёта температурных и скоростных полей в пакете программ необходимо было выбрать физический режим моделирования Non-Isothermal Flow. Программный пакет Comsol Multiphysics использует метод конечных элементов, который применяется при расчёте температурных и скоростных полей и давления при решении дифференциальных уравнений. Сетка конечных элементов в ручном режиме уплотняется вокруг моделируемых объектов, при этом наименьший размер элемента будет у воздухораспределителей (рис. 4).

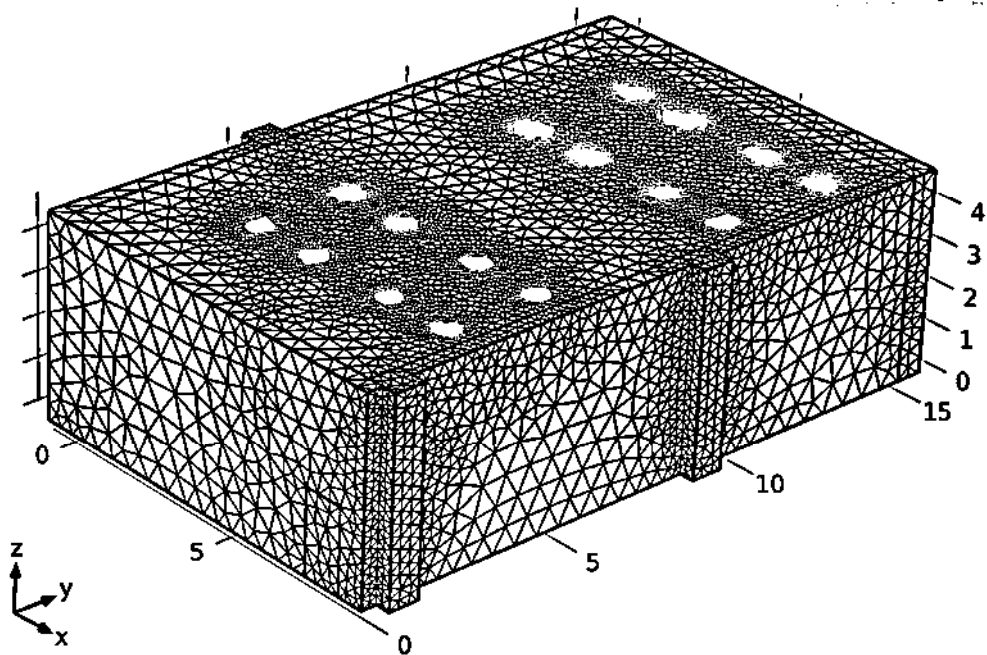


Рис. 4. Сетка конечных элементов тренажёра БЩУ АЭС

В проектируемом помещении тренажёра установлено следующее тепло-выделяющее оборудование: оборудование блочного щита управления, а также персональные компьютеры. Воздухораспределители 4АПН расставлены в соответствие с планом проекта (рис. 5).

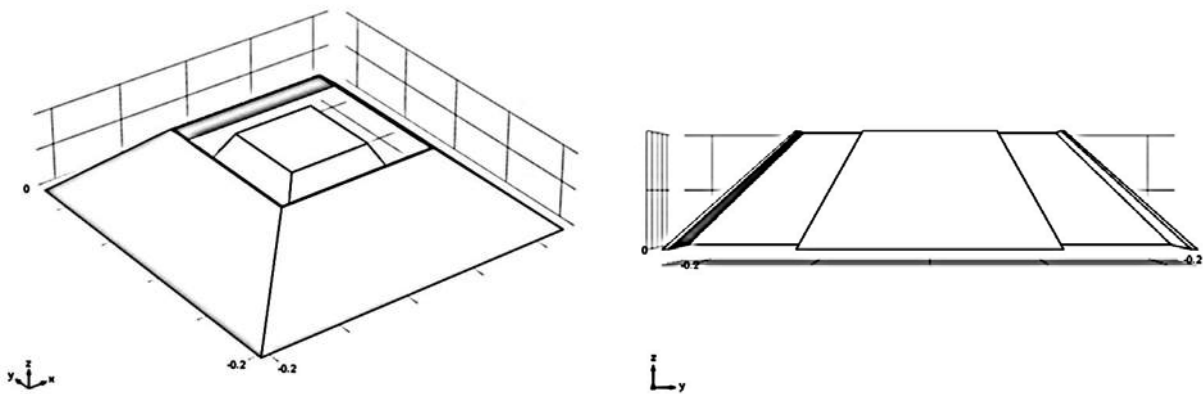


Рис.5. Геометрия внутренней части воздухораспределителя типа 4АПН

Наибольший интерес вызывают условия наибольшего расхода и перепада температур приточного и внутреннего воздуха, поэтому расчёт необходимо производить в тёплый период года в рабочее время в момент использования всего тепловыделяющего оборудования. Также рассчитываются следующие режимы работы – тёплый период года в нерабочее время, холодный в рабочее время и в нерабочее время. При этом в течение времени будут меняться параметры микроклимата (температура, скорость воздуха) в сторону уменьшения

или увеличения, а также определяться амплитуда этих колебаний в системе кондиционирования динамического микроклимата.

Полученная модель позволит определять требуемый расход подаваемого воздуха, температуру внутреннего воздуха, необходимого для поддержания работоспособности и комфорта персонала путём изменения амплитуды температур и скорости. Также можно будет исследовать влияние тепловыделяющего оборудования на температурное и скоростное поле внутри помещения, различные схемы воздухообмена и способы установки воздухораспределителей типа 4АПН.

Данная модель может быть применима для тренажёров блоков управления АЭС, а также для реальных БЩУ АЭС при создании систем кондиционирования динамического микроклимата.

1. Ловцов, В. В. Системы кондиционирования динамического микроклимата помещений [Текст] / В. В. Ловцов, Ю. Н. Хомуцкий. – Л. : Стройиздат, 1991.

2. Сафронов А.С., Лапатеев Д.А. Энергосберегающий эффект при использовании предварительной осушки воздуха в прерывистом режиме отопления. В книге: РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА, тезисы докладов Двадцать второй Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов: в 3-х томах. 2016. С. 321.

3. Гаранин, А. В. Разработка систем динамического микроклимата и создание на их основе энергосберегающих режимов работы оборудования: дис. . канд. техн. наук: 05.14.04 / Гаранин Алексей Валентинович. – Иваново: Б.и., 2010. – 209 л: ил.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТОРФА В КАЧЕСТВЕ ТЕПЛОИЗОЛЯТОРА ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ В ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОМ СЕКТОРЕ

М.С. Серова

Научный руководитель А.А. Синицын, канд. техн. наук, доцент
Вологодский государственный университет
г. Вологда

Согласно Федеральному Закону об энергетической эффективности, актуальность исследований основывается на следующих принципах:

1. эффективное и рациональное использование энергетических ресурсов;
2. поддержка и стимулирование энергосбережения и повышения энергетической эффективности;
3. системность и комплексность проведения мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности;

4. планирование энергосбережения и повышения энергетической эффективности;

5. использование энергетических ресурсов с учетом ресурсных, производственно-технологических, экологических и социальных условий [1].

Технология строительства за последние десятилетия существенно изменилась. Так в странах Европы при строительстве зданий и сооружений в конструкциях стен перестали использовать (применять) кирпич, камень и т.д. Стены стали сооружать в виде каркаса, собранного из брусков или балок и заполнение их утеплителем (минеральной ватой, древесноволокнистыми плитами и т. д.).

Проблема производства строительных материалов с улучшенными физико-механическими и теплофизическими свойствами с использованием в качестве сырьевых компонентов некондиционных веществ и отходов промышленности была и остается объектом исследований и инноваций. На сегодняшний день большинство материалов, применяемых в качестве теплоизоляции, производятся на основе полимеров. У таких теплоизоляционных изделий существует ряд недостатков: низкая клеящая способность (т.е. взаимодействия клея с субстратом), невысокая долговечность во время эксплуатации, выделение токсичных веществ (при разложении и горении), малая прочность (при изгибе и сжатии).

В условиях регионального климата стоит особая задача по выбору материала с высоким термосопротивлением. Термосопротивление стен определяется физическими свойствами выбранного теплоизоляционного материала, его толщиной и воздушными пустотами (т. к. воздух является хорошим изолятором тепла). Так, например, теплопроводность воздуха составляет $\lambda = 0,0262$ Вт/(м×К), тогда как стекловолокно минеральной ваты от 0,7 до 1,3. Поэтому минеральная вата при плотности $\gamma = 100$ кг/м³ имеет $\lambda = 0,047$ (250 – 0,057); стекловата имеет те же значения. Плиты (маты) на синтетическом связующем вообще весят от 50 кг/м³, а λ имеют 0,038. То есть, чем меньше плотность, тем меньше теплопроводность, и тем утеплитель лучше.

Традиционно теплоизоляционными материалами считаются: древесноволокнистые плиты, арболит, минеральная вата, стеклянная вата, газобетон, пеностекло, плиты на синтетическом связующем и так далее. Такие утеплители делятся на разные виды в силу своих особенностей: материала изготовления, способа установки, теплосохранности, ценового диапазона и так далее. Для увеличения биостойкости, огнестойкости, водостойкости в теплоизоляционных материалах разработанных на основе органики вводят антипирены, антисептики и гидрофобизаторы. Рекомендованная толщина таких теплоизоляторов считается от 10 см. В случае проведения внутренних утеплительных работ, слой теплозащиты составляет 5..10 см. Такая толщина стен позволит достигнуть лучшего энергосбережения.

На сегодняшний день существует множество инновационных теплоизоляционных материалов, и одним из таких материалов можно выделить торф.

Использование торфяных болот на территории России началось с древнейших времен. Во времена Петра I началось изучение болот и торфяного дела на Руси, но только с мая 1913 г. зарождается первое промышленное торфяное предприятие и начинается торфяная индустрия России, когда торфоразработки начали давать первые тонны промышленного торфа. Развитие теплоэнергетики Вологды связано с развитием торфяного производства. В 1937 г. началось строительство Вологодской теплоэлектроцентрали, в качестве топлива должен был использоваться торф с Турундаевских торфоразработок, а 5 февраля 1955 г. была построена вторая очередь ТЭЦ, для которой основным топливом являлся торф, а мазут – резервным.

Торфяные теплоизоляционные изделия в настоящее время изготавливают в виде: плит, скорлуп, сегментов и используют для теплоизоляции ограждающих конструкций зданий III класса, поверхностей промышленного оборудования и трубопроводов. На рисунке показана классификация торфяных плит.



Рис. Классификация торфяных плит

Плотность плит около 170 кг/м^3 , а коэффициент теплопроводности составляет $0,06 \text{ Вт/(м} \times \text{К)}$. Теплопроводность таких плит существенно зависит от плотности: при $\gamma = 275$; $\lambda = 0,064$, а при $350 - 0,076$. Торф выпускают как теплоизоляционный строительный материал в виде блоков и кирпичей. Их плотность различна: $250 - 500 \text{ кг/м}^3$, а коэффициент теплопроводности $0,066 - 0,083 \text{ Вт/(м} \times \text{К)}$. Сменные матрицы позволяют изготавливать блоки различных размеров [2].

Сырьем для производства торфяных плит служит малоразложившийся верховой торф, имеющий волокнистую структуру, что благоприятствует получению из него качественных изделий путем прессования. Плиты изготавливают путем прессования в металлических формах с последующей сушкой при температуре $120...150^\circ\text{C}$. Различают два способа изготовления плит, в зависимости от их начальной влажности торфяной массы: мокрый (влажность $90...95\%$) и сухой (влажность около 35%).

Свойства торфяных теплоизоляционных плит определяются качеством торфа. Пористость характеризуется волокнистой однородной массой, и колебаться в пределах – 84...91%. Прочность и плотность зависит от качества используемое сырье. При изготовлении торфяных плит структура нарушается не сильно, поэтому плотность готового изделия близка к плотности торфа и может колебаться от 170 до 260 кг/м³. Торфяные плиты по плотности относятся к группе высококачественных теплоизоляционных материалов. При изгибе прочность плит составляет от 0.3 до 0.5 МПа, что является возможным обеспечить их простоту монтажа и транспортировки. Водопоглощение торфоплит очень высокое. Высокопористое строение плит способствует гигроскопическому увлажнению и капиллярному подсосу. Так, у обычных плит водопоглощение (по массе) за сутки составляет от 170 до 190%, а у водостойких плит, получаемых с помощью введения гидрофобных добавок в массу водопоглощение – 50%. Теплопроводность в сухом состоянии у торфяных плит составляет 0,052... 0,075 Вт/(м °С). Объясняется это мелкопористой смешанной структурой плит и органическим происхождением твёрдой фазы. Температура воспламенения плит, примерно, 160°C, а температура самовоспламенения около 300°C.

Таким образом, ставится задача провести расчетно-экспериментальные исследования возможности использования теплоизоляционных материалов на основе торфа с последующей разработкой технологии изготовления и технико-экономической оценкой рентабельности такого производства.

Первоочередной задачей стоит исследование теплотехнических свойств торфяных плит и оценка влияния влагосодержания на теплопроводность материала. Определение теплопроводности и термического сопротивления широкого спектра строительных и теплоизоляционных материалов производится методом стационарного теплового потока по ГОСТ 7076-99 и методом теплового потока по ГОСТ 30256. В работе [3] ранее проводились подобные исследования.

Последовательность действий при исследовании влияния влагосодержания на термическое сопротивление может быть следующей:

1. Подготовка образцов: из торфяной плиты вырезаются образцы с размерами 150x150 мм, а толщина образца не должна превышать 25 мм. После получившиеся образцы просушиваются в сушильном шкафу не менее 24 часов.

2. Определение массы образца. Для определения массы сухого образца воспользуются электронными весами.

3. Определение теплопроводности образца теплоизоляционного материала. Теплопроводность полностью высушенных образцов определяется не менее пяти раз для каждого образца.

4. Увлажнение и определение относительной влажности образцов. После определения теплопроводности сухих образцов необходимо их увлажнить до требуемой для эксперимента влажности. Непосредственно перед началом

определения теплопроводности увлажненного образца взвешивается на весах и определяется его относительная влажность

5. После определения теплопроводности влажного образца он снова увлажняется до требуемого значения для повторного определения теплопроводности. Теплопроводность определяется не менее пяти раз для каждого образца с измерением влажности перед каждым опытом.

Планируемым результатом экспериментов станет выявление расчетной зависимости теплопроводности образцов от их относительной влажности [4].

1. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: федер. закон от 23.11.2009 N 261-ФЗ- Москва: 2016 – 116 с.

2. Ерхов А.А. Торф в качестве утеплителя стен и перекрытий бюджетного панельно-каркасного малоэтажного дома сельского жителя // «Вестник РГУЗУ»: электронное научное издание. 2016. URL: <http://studygur.ru/doc/1104577/torf-v-kachestve-uteplitelya-sten-i-perekrytij-byudzhetnogo>

3. Павлов М. В., Карпов Д.Ф., Калягин Ю.А., Сеницын А.А., Мнушкин Н. В.: Экспериментально-расчетное определение температуропроводности и теплопроводности сыпучего дисперсного материала на примере фрезерного торфа при нестационарном тепловом режиме/ Журнал «Механизация строительства», изд. дом. «Библио-Глобус» – Москва – 2013г. – 34-39 с.

4. Сеницын А.А., Шевченко В.П.: Пути повышения эффективности использования торфяных энергетических ресурсов/ Журнал «Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования», изд. ВоГТУ – Вологда – 2009 г. – 149-152 с.

НАГРЕВ СТАЛЬНЫХ СЛЯБОВ В МЕТОДИЧЕСКИХ ПЕЧАХ ПРИ ГОРЯЧЕМ ПОСАДЕ

С.Е. Сидоренкова

*Научный руководитель С.В. Лукин, д-р техн. наук, профессор
Череповецкий государственный университет
г. Череповец*

На металлургических комбинатах жидкая сталь разливается преимущественно на машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Высокотемпературные стальные слябы, выходящие из МНЛЗ, имеют среднemasсовую температуру порядка 1000°C и содержат значительное количество физической теплоты. При отсутствии поверхностных дефектов (трещин и т.п.) горячие слябы можно сразу загружать в нагревательные печи прокатного производства, осуществляя так называемый горячий посад, тем самым повышая производитель-

ность печей и снижая удельный расход топлива в печах [1, 2]. Однако на отечественных комбинатах горячий посад слэбов после МНЛЗ практически не применяется, что связано, в частности, с достаточной удаленностью цехов разливки и прокатки друг от друга. Слябы, полученные при неизменной технологии разливки (при стационарных режимах) или при несущественном ее изменении, могут считаться качественными и направляться не на холодный склад, а в термостаты (теплоизолированные боксы с подогревом) для выравнивания температуры по их сечению, а затем в нагревательные печи. После нагрева в печи слябы целесообразно снова помещать в термостаты для выравнивания температуры по их сечению, после чего их можно направлять на прокатку.

На рис. 1 показана предлагаемая схема движения слэбов, выходящих из МНЛЗ. На выходе из МНЛЗ производится диагностика горячих слэбов, в результате которой выявляются слэбы с дефектами поверхности. Эти слэбы отправляются на холодный склад, или на машину огневой зачистки, где производится зачистка поверхностных дефектов, после чего, с температурой, примерно равной температуре окружающей среды $t_{o,c} \approx 0^\circ\text{C}$, они поступают в нагревательные печи прокатного производства. Горячие слэбы после МНЛЗ, не имеющие поверхностных дефектов, направляются сразу в термостаты. Из термостата слэбы с температурой $t_0 = 800 \div 1100^\circ\text{C}$ загружаются в нагревательную печь с постоянной температурой в рабочем пространстве $t_{\pi} = 1300 \div 1500^\circ\text{C}$, где нагреваются до среднemasсовой температуры $t_m = 1200 \div 1250^\circ\text{C}$, после чего снова направляются в термостат для выравнивания температуры по их сечению и далее поступают на прокатный стан.

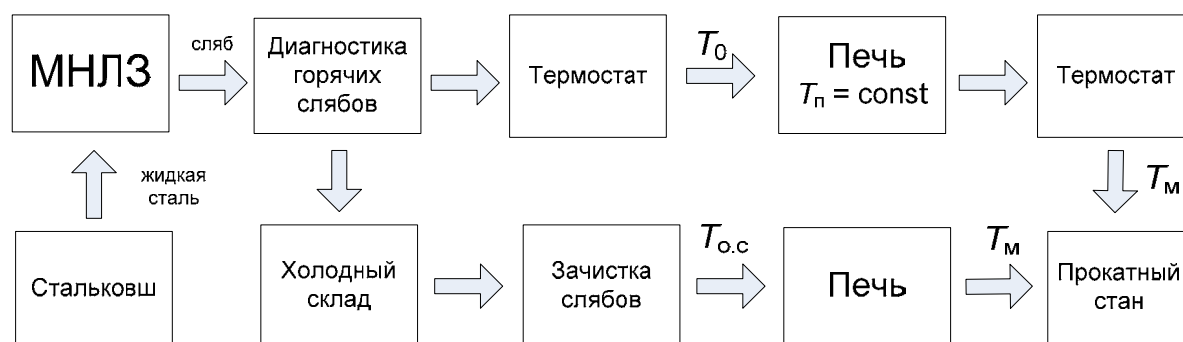


Рис. 1. Схема движения слэбов после МНЛЗ

На рис. 2 показан предлагаемый режим нагрева и термостатирования слэбов, загружаемых в печи в горячем состоянии, который может обеспечить наибольшую производительность печи и наименьший угар металла.

При таком режиме слэбы из термостата, имеющие температуру T_0 , в момент времени $\tau = 0$ загружаются в печь с постоянной температурой в рабочем пространстве T_{π} , (где $T = t + 273,15$, К), и начинают обогреваться с обеих сторон (двухсторонний нагрев). Температура на поверхности слэба $T_{\text{пов}}$ быст-

ро растет, стремясь к температуре в печи T_n , а температура в центре сляба $T_{\text{цен}}$ увеличивается медленнее. Среднемассовая температура сляба $T_{\text{ср}}$ монотонно возрастает, превышая температуру в центре, и оставаясь меньше температуры поверхности ($T_{\text{цен}} < T_{\text{ср}} < T_{\text{пов}}$). После того, как среднемассовая температура сляба в какой-то момент времени $\tau = \tau_n$ достигнет значения T_m (температуры прокатки), сляб необходимо извлечь из печи и поместить в термостат. Если потери теплоты в термостате отсутствуют или компенсируются специальным подогревом, то среднемассовая температура сляба перестанет изменяться, и будет выполняться: $T_{\text{ср}} = T_m = \text{const}$. Температура поверхности сляба $T_{\text{пов}}$ после его помещения в термостат начнет сразу снижаться, стремясь к значению T_m , а температура центра $T_{\text{цен}}$ продолжит увеличиваться, также приближаясь к значению T_m . Через промежуток времени τ_t после помещения сляба в термостат произойдет практическое выравнивание температуры по его сечению.

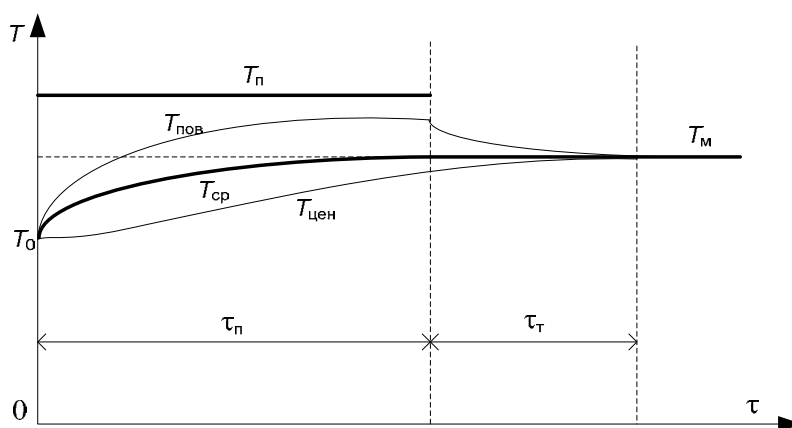


Рис. 2. Режим нагрева и термостатирования горячего сляба

Для инженерных расчетов нагрева слябов в печах с постоянной температурой разработаны номограммы [3], где безразмерная температура металла Θ является функцией чисел Био Bi и Фурье Fo , а также безразмерной координаты X :

$$\Theta = f(X, Bi, Fo), \quad (1)$$

где $\Theta = (T - T_0)/(T_n - T_0)$; $X = x/\delta$; $Bi = \alpha \cdot \delta/\lambda$; $Fo = a \cdot \tau/\delta^2$; $T = T(x, \tau)$ – текущая температура; T_0 – начальная температура сляба; T_n – температура в рабочем пространстве печи; x – размерная координата; τ – текущее время; δ – характерный линейный размер (полутолщина сляба при двухстороннем нагреве); α – коэффициент теплоотдачи на поверхности сляба; λ , a – коэффициенты теплопроводности и температуропроводности стали.

Более точными при инженерном расчете нагрева слябов в печи являются номограммы, построенные по уравнению подобия [4]:

$$\Theta = f(X, Sk, Fo, \Theta_0), \quad (2)$$

где $\Theta = T/T_n$; $X = x/\delta$; $Sk = (C \cdot \delta/\lambda) \cdot T_n^3 \cdot 10^{-8}$ – критерий Старка; $Fo = a \cdot \tau/\delta^2$; $\Theta_0 = T_0/T_n$.

Как следует из (2), безразмерная температура Θ зависит от координаты X , от числа Фурье Fo , от числа Старка Sk , и от величины $\Theta_0 = T_0/T_n$.

В предлагаемом способе нагрева слябов основной расчетной величиной является среднемассовая температура сляба T_{cp} , которая не зависит от координаты X , и определяется уравнением подобия:

$$\overline{\Theta} = \frac{T_{cp}}{T_n} = f(Sk, Fo, \Theta_0), \quad (3)$$

Наибольший интерес представляет момент времени $\tau = \tau_n$ когда среднемассовая температура T_{cp} становится равной температуре T_m , которому соответствует критерий Фурье $Fo' = a \cdot \tau_n / \delta^2$. Тогда из уравнения (3) можно получить такое уравнение подобия:

$$Fo' = f' \left(\frac{T_m}{T_n}, \frac{T_0}{T_n}, Sk \right). \quad (4)$$

В работе [4] выражение (4) представлено в виде:

$$Fo' = \frac{\psi_m - \psi_0}{Sk}, \quad (5)$$

где $\psi_m = \psi(T_m/T_n, Sk)$; $\psi_0 = \psi(T_0/T_n, Sk)$. В [4] приведена номограмма, построенная Будриным Д.В., позволяющая определять функцию ψ в зависимости от $\Theta = T/T_n$ и числа Старка Sk .

На основе выражения (5) и номограммы $\psi(\Theta, Sk)$ рассчитана необходимая длительность нагрева τ_n слябов толщиной $2\delta = 250$ мм для марки стали 30Х до среднемассовой температуры $t_m = 1250^\circ\text{C}$ в зависимости от температуры загрузки слябов в печь t_0 при температуре в печи $t_n = 1350; 1400; 1450^\circ\text{C}$. При расчете приняты значения: $C = 3,5$ Вт/(м²·К⁴); $\lambda = 28$ Вт/(м·К); $a = 5,87 \cdot 10^{-6}$ м²/с. Полученные зависимости приведены на рис. 3.

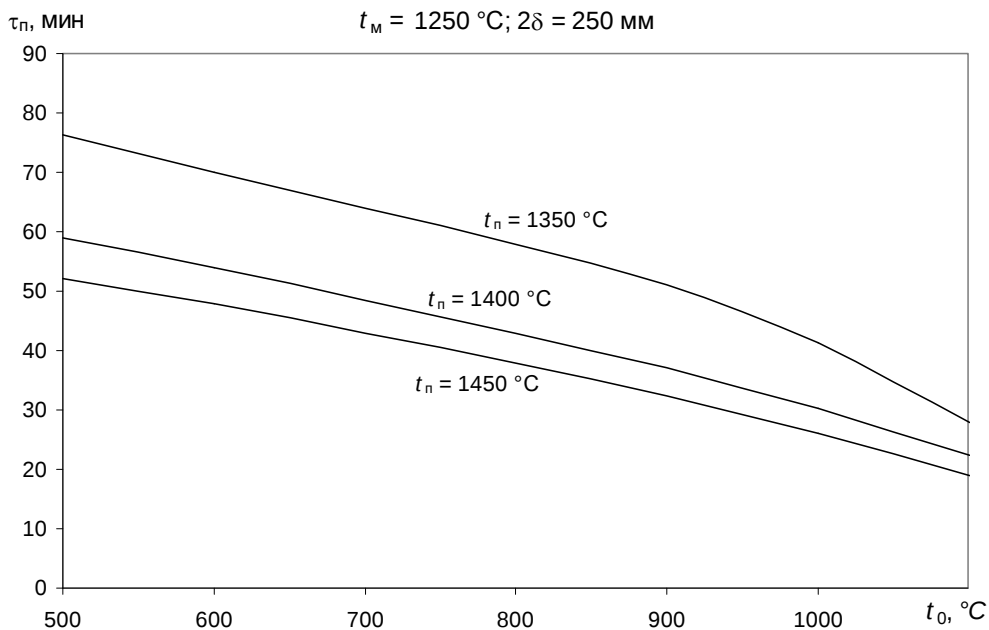


Рис. 3. Зависимость τ_n от t_0 при различных t_n

Из рис. 3 следует, что при увеличении температуры загрузки t_0 при $t_{\text{п}} = \text{const}$ необходимая длительность нагрева $\tau_{\text{п}}$ значительно уменьшается. Так, при температуре в печи $t_{\text{п}} = 1400^\circ\text{C}$ при увеличении t_0 от 500 до 1100°C длительность нагрева снижается от 59 до $22,5$ мин, т.е. более, чем в $2,5$ раза. Во столько же раз возрастет производительность печи. Отметим, что при нагреве из холодного состояния ($t_0 = 0^\circ\text{C}$) до той же среднemasсовой температуры $t_{\text{м}} = 1250^\circ\text{C}$ длительность нагрева сляба составит 82 мин.

При увеличении температуры в рабочем пространстве печи длительность нагрева существенно уменьшается. Так, при $t_0 = 1100^\circ\text{C}$ и увеличении $t_{\text{п}}$ от 1400 до 1450°C длительность нагрева снижается с $22,5$ до $18,9$ мин, т.е. на 16% .

Рассмотренный способ нагрева и термостатирования слабов, разлитых на машинах непрерывного литья заготовок, при загрузке их в нагревательные печи в горячем состоянии и представленная методика расчета нагрева слитка в печи показывают уменьшение необходимой длительности нагрева слитка в печи. В этом случае уменьшается расход топлива, сжигаемого в печи, обеспечивается её наибольшая производительность и наименьший угар металла.

1. Лукин, С.В., Шестаков Н.И., Антонова Ю.В. Совершенствование режимов затвердевания, охлаждения и нагрева стальных слитков при использовании моделирования / С.В. Лукин, Н.И. Шестаков, Ю.В. Антонова // Металлург. – 2014. – № 9. – С. 107 – 110.

2. Лукин, С.В., Шестаков Н.И., Антонова Ю.В. Энергосбережение в нагревательных печах за счет оптимизации режимов разливки, охлаждения и нагрева стальных слитков / С.В. Лукин, Н.И. Шестаков, Ю.В. Антонова // Промышленная энергетика. – 2013. – № 10. – С. 26 – 30.

3. Казанцев, Е.И. Промышленные печи. Справочное руководство для расчетов и проектирования. – М.: «Металлургия». – 1975. – 368 с.

4. Щукин, А.А. Промышленные печи и газовое хозяйство заводов. – М.: «Энергия». – 1973. – 368 с.

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ ВОЗДУХА ДЛЯ СИЛОВЫХ СТРУКТУР

А.С. Сизанова

Научный руководитель А.А. Синицын, канд. техн. наук, доцент
Вологодский государственный университет
г. Вологда

В феврале 2013 года Президентом В.В. Путиным была утверждена Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года. Данным документом определяются основные механизмы, способы и средства достижения стратегических целей и приоритетов устойчивого развития Арктики.

В связи с этим значительно возрастает потребность в эффективном обеспечении личной безопасности военного. И первое, что служит главным средством защиты от внешних воздействий – это личное снаряжение, которое является посредником во взаимоотношении человека со средой.

Еще в декабре 2012 года ФСБ РФ заказала разработку формы для военнослужащих в Арктике. В соответствии с материалами тендера, одежда должна обеспечивать маскировку, защиту от длительного воздействия холода с высокой влажностью и ветром более 15 метров в секунду, от дождя и налипающего снега, от воздействия условий морского холодного и влажного климата, защиту органов зрения от летящих частиц, от ультрафиолета и яркого солнца в условиях постоянного наличия снежного покрова. Также форма должна быть устойчивой к воздействию морской воды, обеспечивать высокую подвижность и свободу перемещения военнослужащих в условиях особо холодного климата, удобство ношения оружия, спасательных жилетов и другого снаряжения. В настоящее время среди разработок по тепловой защите лица человека довольно ограниченный выбор: тепловая маска фирмы «Второе дыхание» (РФ, Челябинск), тепловая маска «СПП-Маас» (РФ, Москва) и тепловая маска «Cold Avenger» (США). Все они имеют общие недостатки: снижение эффективности при увлажнении регенеративной насадки и увеличение ее аэродинамического сопротивления при дыхании.

Таким образом, разработка эффективных средств индивидуальной защиты органов дыхания при низких температурах воздуха для силовых структур актуальна и своевременна.

В России с ее резко континентальным климатом и холодными зимами морозы ниже -15°C бывают на большей части территории. При таких температурах, которые могут усугубляться ветром, температурный дискомфорт возникает уже через полчаса пребывания на открытом воздухе. При выходе на улицу в морозную, ветреную или чересчур влажную погоду – начинаются задержки дыхания, спазмы в легких и ощущение нехватки воздуха.

Таким образом, ставится задача по разработке эффективного регенеративного теплообменного устройства для защитной тепловой маски.

В соответствии с работой [1], тепловая маска предусматривает такую конструкцию насадки, когда вертикально ориентированные ряды каналов не соединяются друг с другом. Дальний от лицевой поверхности насадки ряд каналов сквозной вверху и внизу, а ближний ряд каналов внизу сквозной, а вверху герметично закрытый, но имеющий отверстия для горизонтального входа и выхода воздуха на лицевой поверхности насадки. При этом регенеративная насадка к лицевой маске присоединяется при помощи контактной ленты типа «крючок и петля».

Регенеративная насадка может быть выполнена из однородного или разнородного теплоемкого материала, с вогнутой лицевой и выпуклой задней поверхностью. Может быть выполнена со скошенными вверху углами для снижения аэродинамического сопротивления при движении воздуха в верхней части насадки через дальний ряд каналов [2].

Для расчетно-экспериментальных исследований эффективности такого регенератора необходимо составить математическую модель процессов аккумуляции и регенерации. Принимаем следующие упрощения:

1. В виду того, что устройство компактно, будем рассматривать его в виде энергоузла, в котором на первом этапе происходит процесс аккумуляции тепловой энергии от более нагретого теплоносителя, на втором этапе – регенерация энергии от насадки к более холодному теплоносителю.

2. Принимаем, что величины амплитуд колебаний и время каждого цикла постоянны и не меняются в течение времени.

3. Температуры теплоносителей внешней (более низкая температура) и внутренней (более высокая температура) сред – постоянны и не меняются в течение времени.

Предполагаем, что изменение температуры насадки на этапах аккумуляции тепла описывается уравнением

$$U'(t) = \frac{k_1}{t_0}(U_{in} - U(t)), \quad t \in (2nt_0, 2nt_0 + t_0), \quad n = 0, 1, \dots, \quad (1)$$

а на этапах регенерации – уравнением

$$U'(t) = -\frac{k_2}{t_0}(U(t) - U_{out}), \quad t \in (2nt_0 + t_0, 2(n+1)t_0), \quad n = 0, 1, \dots. \quad (2)$$

Здесь $U(t)$ – температура насадки в момент времени t , t_0 – фиксированный промежуток времени, в течение которого происходит аккумуляция или регенерация тепла, U_{in} – температура внутренней среды, U_{out} – температура внешней среды. Уравнения (1) и (2) получаются из закона Ньютона-Рихмана, согласно которому скорость изменения температуры $U'(t)$ прямо пропорциональна разности температур насадки и окружающей среды. Следовательно, $\frac{k_1}{t_0}$

и $\frac{k_2}{t_0}$ – коэффициенты пропорциональности на этапах аккумуляции или регенерации тепла. Числа k_1 и k_2 характеризуют интенсивность теплообмена, их мы назовем коэффициентами энергоэффективности материала насадки.

Для адекватности математической модели к уравнениям (1) и (2) добавляем начальное условие

$$U(0) = U_0, \quad (3)$$

где U_0 – задаваемая температура насадки в начальный момент времени, $U_{in} \leq U_0 \leq U_{out}$, и условия согласованности уравнений (1) и (2)

$$U(mt_0 - 0) = U(mt_0 + 0), \quad m = 1, 2, \dots, \quad (4)$$

означающие сохранение (непрерывность) температуры $U(t)$ в моментах переключения mt_0 , $m = 1, 2, \dots$. Уравнения (1) и (2) вместе с условиями (3) и (4) составляют математическую модель процесса изменения температуры во времени в регенеративном теплообменнике. Всякую функцию $U(t)$, которая при заданных числах t_0 , k_1 , k_2 , U_{in} , U_{out} , U_0 удовлетворяет уравнениям (1), (2) и условиям (3), (4), назовем температурным режимом насадки. Температурный режим $U(t)$ назовем периодическим, если при любом $t \geq 0$ выполняется равенство $U(t + 2t_0) = U(t)$, т.е. через время (период) $2t_0$ значение $U(t)$ повторяется.

$$U(t) = U_{in} - e^{-\frac{k_1}{t_0}(t-2nt_0)} (U_{in} - U(2nt_0)), \quad t \in (2nt_0, 2nt_0 + t_0), \quad (5)$$

$$U(t) = U_{out} + e^{-\frac{k_2}{t_0}(t-(2nt_0+t_0))} (U(2nt_0 + t_0) - U_{out}), \quad t \in (2nt_0 + t_0, 2(n+1)t_0), \quad n = 0, 1, \dots \quad (6)$$

На основе экспериментальных измерений, находя приближенные значения $\hat{U}_{max}$ и $\hat{U}_{min}$, можно найти k_1 и k_2 – коэффициенты энергоэффективности материала насадки.

Апробация математической модели проводилась в реальных условиях при следующих параметрах: температура внешней среды: $-9,1^\circ\text{C}$; температура внутренней среды: $36,6^\circ\text{C}$; температура внутренней стороны насадки: вдох: $29,1 \dots 29,8^\circ\text{C}$, выдох: $34,0 \dots 35,4^\circ\text{C}$; температура наружной стороны насадки: вдох: $4,8 \dots 5,4^\circ\text{C}$, выдох: $24,3 \dots 27,4^\circ\text{C}$.

По результатам экспериментальных исследований получено следующее: коэффициент аккумуляции находится в диапазоне от 0,9 до 1,2, а коэффициент регенерации – от 0,8 до 0,9. Это может говорить о том, что для устройства из данного материала и подобной конструкции эффективность восприятия тепловой энергии выше, чем её отдача.

В дальнейшем ставится задача по изготовлению опытных образцов и проведения ряда экспериментов.

1. Сизанова, А.С. Разработка паспортных характеристик тепловой маски./ А.С. Сизанова// Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: материалы докладов I Поволжской научно-практической конференции / под общ. ред. Э.Ю. Абдуллазянова. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2015. – С. 463–467.

2. Сизанова, А.С. Разработка серии тепловых масок для защиты органов дыхания при низких температурах воздуха / А.С. Сизанова// Каталог XVIII конкурса бизнес-идей, научно-технических разработок и научно-исследовательских проектов «Молодые, дерзкие, перспективные». – СПб – 2015. – С.74–75.

3. Сизанова, А.С. Разработка математической модели теплообмена в регенеративном устройстве/ А.Н. Наимов, Н.Н. Монаркин, А.С. Сизанова, А.А. Сеницын // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования: материалы XI Международной научно-технической конференции/ М-во образ. и науки РФ; Вологод. гос. ун-т. – Вологда: ВоГУ, 2016. – С.109-113.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ВЫПАРНОГО АППАРАТА БРНШ-3

А.Н. Сурикова

*Научный руководитель С.В. Лукин, д-р техн. наук, профессор
Вологодский государственный университет
г. Вологда*

Блоки разделения нефтешламов (БРНШ) служат для удаления влаги из масловодяных эмульсий с помощью процесса выпаривания. Тепловой расчет установки БРНШ-3 показал, что тепловая мощность котла используется неэффективно, поскольку лишь в начале процесса нагрева нефтешлама вся номинальная мощность котла передается нефтешламу, а в процессе выпаривания тепловой поток от греющей воды к нефтешламу снижается в несколько раз. Для увеличения производительности выпарной установки необходимо увеличить поверхность нагревателя в несколько раз, кроме того, одновременно нужно увеличить охлаждающую мощность калорифера для конденсации увеличенного расхода пара. Кроме того, теплота пара, образующегося при выпаривании влаги из нефтешлама, никак не используется и теряется в окружающей среде (отводится через калориферы), что обуславливает низкую тепловую экономичность установки, и также уменьшает ее возможную производительность. Теплоту получаемого пара можно утилизировать в дополнительной выпарной ступени, работающей по принципу основного аппарата, только вместо

греющей воды дополнительная ступень будет обогреваться паром, выходящим из основной ступени [1].

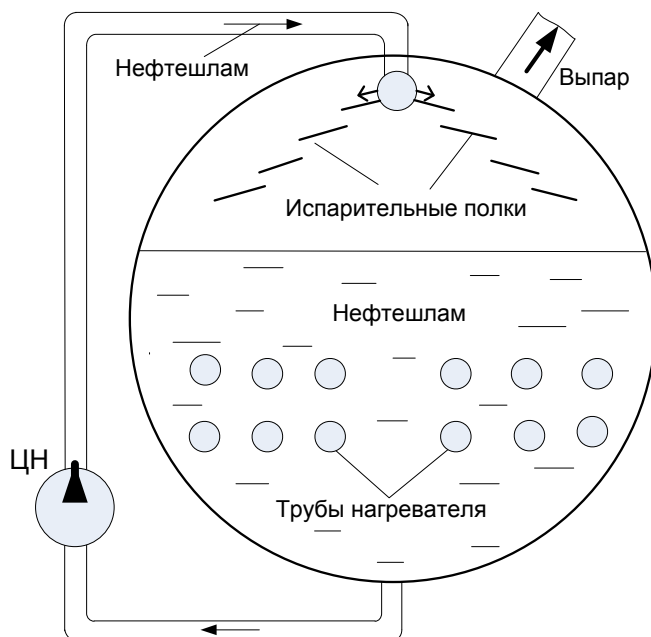


Рис. 1. Принципиальная схема выпарного аппарата БРНШ

Исследование установок показало, что они имеют низкую тепловую эффективность, и в результате невысокую производительность. При этом процессы массообмена, протекающие при выпаривании капель дисперсной влаги из масловодяной эмульсии на испарительных поверхностях, остались без внимания, точнее, принималось, что эти процессы протекают очень быстро и не влияют на производительность и эффективность осушки нефтьшлама.

На рис. 1 показана принципиальная схема выпарного аппарата установки БРНШ. Корпус выпарного аппарата выполнен в виде стального цилиндра, снаружи покрытого тепловой изоляцией. В нижней части выпарного аппарата находятся трубы нагревателя, обогреваемые изнутри водой или паром, в верхней части аппарата находятся полки испарителя.

Экспериментальные исследования установки БРНШ-3 показали, что в режиме выпаривания выход пара из выпарного аппарата составляет $G_{\text{п}} \cong 10 \text{ кг/ч} = 0,0028 \text{ кг/с}$, что при достаточно больших x и d намного меньше величины G_{max} . В этом случае производительность установки определяется тепловым потоком, подводимым к нефтьшламу, и для увеличения производительности установки достаточно увеличить площадь поверхности нагрева и температурный напор. Однако при малых x и d величина G_{max} резко снижается, и производительность установки будет определяться величиной G_{max} . Таким образом, при мелкодисперсных эмульсиях, когда капли влаги имеют маленький диаметр, вплоть до $0,2 \text{ мкм}$, или в конце процесса выпаривания, когда влагосодержание стремится к нулю, площадь поверхности нагрева перестает влиять на производительность установки. При этих условиях производи-

ность начинает определяться числом и длиной испарительных полок, а также расходом циркулирующего нефтешлама V . Так, при $x = 1 \text{ кг/м}^3$ и $d = 100 \text{ мкм}$ максимальная производительность $G_{\max}$ составит $0,00125 \text{ кг/с}$, а при $x = 10 \text{ кг/м}^3$ и $d = 10 \text{ мкм}$ – тоже $0,00125 \text{ кг/с}$, что меньше обычной производительности установки ($G_{\text{п}} \cong 0,0028 \text{ кг/с}$).

Из опыта эксплуатации установки БРНШ-3 известно, что в конце процесса выпаривания начинает ухудшаться вакуум внутри выпарного аппарата (растет абсолютное давление), и производительность резко снижается [2]. В этом случае наступает равенство $G_{\text{п}} = G_{\max}$, и процесс выпаривания после этого обычно прекращают. Остаточное содержание влаги при этом обычно составляет $1 \div 3 \%$ по массе нефтешлама, т.е. $x \cong 10 \div 30 \text{ кг/м}^3$.

Открытая поверхность эмульсии постоянно возникает при подаче нефтешлама на полки испарителя. Принимая, что нефтешлам стекает по полкам под действием силы тяжести. Схема движения эмульсии по полке испарителя показана на рис. 2, где β – угол наклона полки к горизонтальной плоскости; w_x – скорость эмульсии; δ – толщина слоя эмульсии на полке; g_x – проекция ускорения свободного падения на ось x : $g_x = g \cdot \sin(\beta)$.

Рассмотрим, как можно увеличить максимальную производительность установки $G_{\max}$, и тем самым повысить эффективность и степень осушки нефтешлама. При данных x и d величина $G_{\max}$ наиболее значительно зависит от числа полок испарителей $2N$ ($G_{\max} \sim 2N$), менее значительно – от расхода нефтешлама V ($G_{\max} \sim V^{2/3}$), и незначительно – от длины полок l и угла наклона полки β ($G_{\max} \sim l^{1/3}$, $G_{\max} \sim (\sin\beta)^{1/3}$).

Расход нефтешлама V должен выбираться таким образом, чтобы подогрев нефтешлама $t' - t''$ в нижней части выпарного аппарата составлял $2 \div 3 \text{ }^\circ\text{C}$, чтобы обеспечить наибольший средний температурный напор между греющей средой и нефтешламом. Дальнейшее повышение расхода V является нецелесообразным, так резко возрастают затраты энергии на перекачку нефтешлама [3], а средний температурный напор практически не увеличивается.

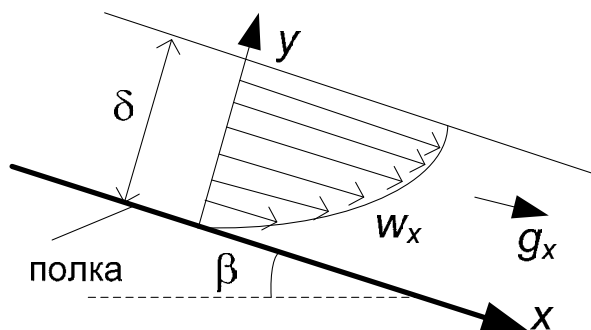


Рис. 2. Схема движения эмульсии по полке испарителя

Наиболее эффективно повысить величину $G_{\max}$ можно за счет увеличения числа полок испарителей $2N$, причем, как уже отмечалось, ширина полок не влияет на $G_{\max}$, однако расстояние по высоте между соседними полками не

должно быть слишком маленьким, иначе при перетекании слоя эмульсии с полки на полку не будет перемешивания ее слоев и не будет возникать «свежая» поверхность эмульсии. Очевидно, что при одних и тех же размерах корпуса выпарного аппарата число полок $2N$ теоретически может быть сделано бесконечно большим, однако на практике это число не может быть больше $D/h_{\min}$, где D – внутренний диаметр цилиндрического корпуса выпарного аппарата; $h_{\min}$ – минимальное расстояние по высоте между соседними полками. Так, если $D = 1,7$ м, $h_{\min} = 0,005$ м, то максимальное число полок составит $2N = 340$, что в несколько десятков раз превышает число полок в выпарном аппарате БРНШ-3. В этом случае степень осушки нефтешлама может быть намного более глубокой.

1. Лукин С.В., Сеницын Н.Н., Сурикова А.Н. Тепловой расчет установки по выпариванию влаги из нефтепродуктов // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2015. – № 4 (65). – С. 33 – 37.

2. Лукин С.В., Сеницын Н.Н., Сурикова А.Н. Повышение тепловой эффективности блока разделения нефтешлама // Промышленная энергетика. – 2016. – № 2. – С. 33 – 37.

3. Лукин С.В., Сурикова А.Н. Оптимизация числа выпарных ступеней установки разделения нефтешлама // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2015. – № 6 (67). – С. 14 – 19.

4. Исаченко В.Л., Осипова В.А. и др. Теплопередача. – М.: Энергоиздат, 1981. – 417 с.

БИОГАЗОВЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ ФЕРМЕРСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Д.Ю. Суслов, Д.О. Темников

Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова
г. Белгород

Предприятия Белгородской области производят четверть мясной продукции Российской Федерации. Но с каждым новым достигнутым рубежом по производству мяса становится всё более актуальным вопрос утилизации отходов от предприятий агропромышленного комплекса. Последние события, связанные с незаконным складированием отходов и загрязнением фермерами природных территорий подтверждают наличие данной проблемы [1, 2]. Существующие решения по обеззараживанию отходов, например, денитрификацией и нитрификацией на импортном оборудовании стали менее доступны в связи с экономической ситуацией в стране.

В то же время Белгородская область имеет опыт внедрения биогазовых установок, которые не просто утилизируют отходы, а производят экологически чистые органические удобрения и вырабатывают альтернативный источник энергии – биогаз, тем самым компенсируя собственные энергетические потребности, что повышает общую экономическую эффективность производства от применения данной технологии [3].

Разработана биогазовая установка для переработки отходов малого фермерского хозяйства, состоящего из 50 голов КРС на откорме. Технологическая схема установки представлена на рисунке. Основным оборудованием установки является биореактор объемом 60 м^3 . Данный реактор работает в мезофильном температурном режиме с гидравлическим временем удержания субстрата $\tau = 16$ суток и влажностью $W = 92\%$.

Для поддержания требуемой температуры биомассы в биореакторе и в подготовительной емкости предусмотрена система обогрева. Источником тепловой энергии является газовый котел, работающий на производимом биогазе.

Для равномерного распределения температуры и популяции бактерий в биореакторе запроектирована система перемешивания комбинированного типа, включающая механическое и барботажное перемешивание [4]. Для интенсивного механического перемешивания подобран электродвигатель АИР132М2 мощностью 11 кВт с КПД 88%.

Для барботажного перемешивания подобран компрессор ЕТ РЕК 25 мощностью 18,5 кВт, расходом $3,1 \text{ м}^3/\text{ч}$ и давлением до 8 Атм.

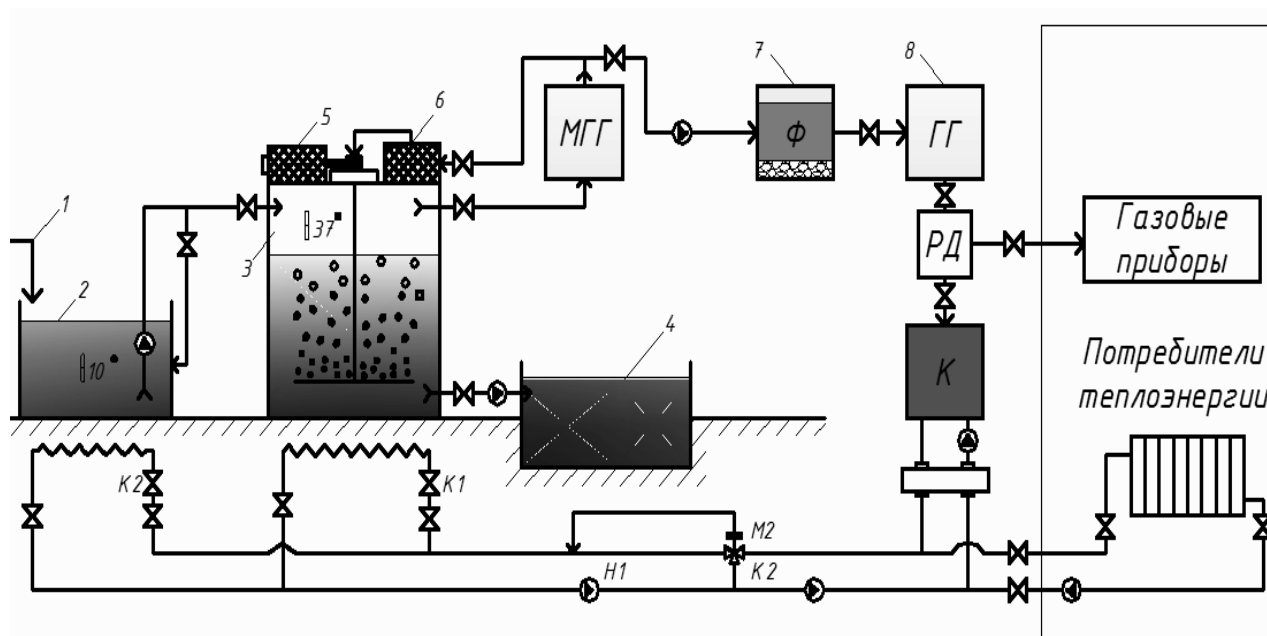


Рис. Технологическая схема биогазовой станции:

МГГ – малый газгольдер; Φ – фильтр; ГГ – газгольдер; РД – регулятор давления;
 К – котел; 1 – подача субстрата; 2 – подготовительная емкость; 3 – биореактор;
 4 – емкость перебродившего субстрата; 5 – привод мешалки; 6 – компрессор;
 7 – фильтр; 8 – газгольдер

Работа биогазовой установки делится на два этапа:

На первом этапе органические отходы поступают в подготовительную емкость 2, где их измельчают до однородной массы и предварительно подогревают до 10°C. Если органические отходы разного происхождения, их необходимо смешивать в определенной пропорции согласно рекомендациям эксплуатации биогазовой установки.

После предварительной подготовки происходит второй этап работы установки, где субстрат подается в биореактор 3 согласно принятой технологии сбраживания. Загрузка может происходить как порционно один раз в день, так и непрерывно до 10 загрузок в день. В биореакторе субстрат равномерно перемешивается по всему объему за счет механического 5 и барботажного перемешивания 6. В процессе перемешивания субстрата в нем происходит активное размножения и жизнедеятельность метанообразующих бактерий, вследствие чего субстрат обеззараживается и превращается в удобрения, а его органическая часть частично превращается в газ и поступает в малый газгольдер МГГ. Перебродивший субстрат сбрасывается в емкость 4.

В биореакторе 3 поддерживается мезофильный температурный процесс за счет работы тепловой рубашки, по трубкам которой циркулирует горячая вода из котла. В котле вода нагревается за счет сгорания газа, произведенного биогазовой установкой. Предварительно газ очищается в фильтре и поступает на хранение в газгольдер ГГ.

Данная установка позволяет перерабатывать 1500 кг органических отходов в сутки и производить при этом 63,5 м³ биогазового топлива и более 1000 кг органических отходов. Это позволит малому фермерскому хозяйству произвести частичное либо полное замещение природного газа за счет применения биогаза, производимого из органических отходов.

Можно сделать вывод, что применение биогазовых технологий позволяет снизить негативное воздействие деятельности сельскохозяйственных предприятий на окружающую природу. А также повысить общий уровень газификации и улучшить агрохимические свойства земель за счет внесения производимых биоудобрений.

Работа выполнена в рамках реализации стипендии Президента Российской Федерации СП – 1716.2015.1.

1. Межрегиональная экологическая общественная организация Зеленый Фронт [Электронный ресурс]. – URL: <http://greenfront.su/post/3117> – Яз.рус. – (Дата обращения 6.10.2016)

2. Межрегиональная экологическая общественная организация Зеленый Фронт [Электронный ресурс]. – URL: <http://greenfront.su/post/3080> – Яз.рус. – (Дата обращения 6.10.2016)

3. Суслов Д.Ю., Темников Д.О. Тепловой баланс биореактора с барботажным перемешиванием биомассы / Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2015. №1. С.182-185.

4. Темников Д.О. Разработка компьютерной модели биореактора с комбинированным типом перемешивания в многофункциональном комплексе ANSYS. [Электронный ресурс] / Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгород. 2015.

5. Баадер, В. Биогаз. Теория и практика / В. Баадер, Е. Доне, М. Брендерфер.– М.: Колос, 1982. – 148 с.

6. Эдер Б., Шуль Х. Биогазовые установки / перевод с нем. компании «Zorg Biogas»: 2008. 268 с.

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА ПРИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ

Е.Н. Филиппова

Научный руководитель А.А. Синицын, канд. техн. наук, доцент

Вологодский государственный университет

г. Вологда

Температура тела – показатель теплового состояния человека или другого живого организма, отражающий баланс между выработкой тепла различными органами и тканями и теплообменом между ними и внешней средой.

В зависимости от температуры тела различают следующие состояния организма:

- гипотермия (когда температура ниже 35°C);
- нормальная температура (от 35 до 37°C);
- гипертермия (когда температура выше 37°C).

Критическим значением температуры тела считается 42°C. После достижения этой отметки происходит внутриклеточная денатурация белка, что приводит к гибели всего организма.

Повышение температуры тела человека может быть вызвано воздействием как внешних, так и внутренних факторов.

Вне зависимости от того, поступает ли тепло из окружающей среды, либо изнутри человеческого тела, высокая температура оказывает отрицательное воздействие на самочувствие и здоровье в целом и является одним из основных факторов, ограничивающих возможности человека выполнять физическую работу и ухудшающих когнитивные функции (память, внимание, координацию движений, речь, мышление, ориентацию), особенно во время физических упражнений или при работе в экстремальных температурных условиях. Кроме того, при работе в условиях высокой температуры более интенсивным становится потоотделение, в результате чего происходит обезвоживание организма и, как следствие, потеря минеральных солей и водорастворимых витаминов.

Традиционные методы охлаждения тела (вентиляторы, пакеты со льдом, холодная вода и т.д.) для охлаждения внутренних органов малоэффективны. Это объясняется двумя причинами: во-первых, данные методы воздействуют на поверхность кожи, и холод с трудом проникает внутрь организма через самую кожу, жировую прослойку и мышцы (которые являются очень эффективными изоляционными материалами); во-вторых, холодные температуры этих средств могут привести к сужению кровеносных сосудов и вызвать обратный эффект за счет выключения естественных механизмов рассеивания тепла.

Для улучшения условий функционирования организма человека при экстремальных температурах были разработаны устройства, позволяющие охлаждать кровь, циркулирующую в ладонях.

Одно из первых устройств такого типа создали учёные Стэнфордского университета (штат Калифорния) более 20 лет назад. В настоящее время оно производится в двух модификациях:

- 1) CoreControlPro [1];
- 2) портативный вариант RTX («RapidThermalExchange» – «Быстрый теплообмен») [2].

Оба устройства служат для быстрого отвода избыточного тепла от ладони человека.

RTX является сравнительно новой моделью, её продажи начались в первом квартале 2016 года, а CoreControlPro на протяжении уже довольно длительного времени используется вооружёнными силами США, пожарными, людьми, работающими в местностях с высокими температурами воздуха, а также спортивными командами.

Кроме вышеназванных моделей из устройств подобного назначения можно отметить еще следующие:

- 1) Cool Ware Personal Cooling System (Персональная система охлаждения) – устройство, крепящееся на шею и состоящее из алюминиевого обруча, двухскоростного вентилятора и резервуара для холодной воды, которую нужно менять каждые 2 – 4 часа;
- 2) dhama SPORT – браслет, ускоряющий механизм естественного охлаждения организма путем отведения излишнего тепла организма от крови, проходящей через запястье [3].

Все вышеперечисленные устройства для охлаждения тела человека при экстремальных температурах разработаны и производятся за рубежом.

Таким образом, разработка устройств аналогичного назначения в нашей стране является актуальной задачей.

Разрабатываемое устройство основывается на запатентованном российскими исследователями устройстве [4].

Работает оно по следующему принципу: человек помещает руку в герметичный корпус, при этом его ладонь контактирует с теплообменником, а эластичная манжета, плотно прилегающая к поверхности руки, герметизирует

зазор между корпусом и запястьем. При включении источника электроэнергии начинает работать блок термопреобразователей, отводящих тепло от теплообменника к радиатору. Радиатор, расположенный вне корпуса, рассеивает тепло в окружающее пространство. В результате этого теплообменник охлаждается и охлаждает ладонь, а также полость внутри корпуса. Кровь, циркулирующая по сосудам ладони, охлаждается и за счёт дальнейшего движения по кровеносной системе снижает температуру тела человека. Для компенсации сужения сосудов ладони под действием холода внутри герметичного корпуса при помощи вакуум – насоса создается пониженное давление, расширяющее сосуды и обеспечивающее интенсивный кровоток через ладонь.

По сравнению с рассмотренными выше западными аналогами данное устройство обладает важным преимуществом, которое заключается в отсутствии системы водяного охлаждения, а именно соединительных шлангов и необходимости периодически менять охлаждающую воду.

Для изготовления опытного образца требуется знать, какой охлаждающей мощностью должно обладать устройство. Для этой цели были проведены экспериментальные исследования процесса теплопередачи от кисти к водной среде.

Кроме того, на основе опытных данных построен график экспериментальной зависимости времени нагрева водной среды за счет температуры кисти человека (рис.).

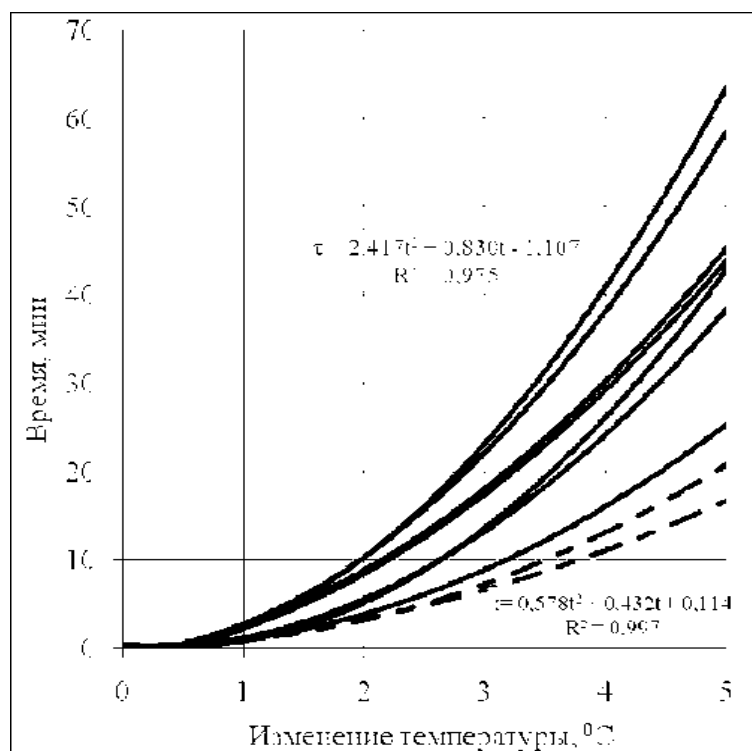


Рис. Экспериментальная зависимость времени нагрева водной среды за счет температуры кисти человека

На основе данных, полученных в результате экспериментальных исследований, были проведены расчёты количества теплоты, переданной от ладони к воде, а также мощности, необходимой для отвода данного количества тепла.

Результаты экспериментов показали следующее:

- 1) теплопродукция зависит от большого количества переменных: размеров кисти, ориентированности ведущей руки (правая или левая), пола, функционального состояния (покой или при мышечной деятельности) и других;
- 2) ведущая рука у человека обладает большей теплопродукцией. Это может быть связано с увеличением мышечной массы и пропускной способности кровеносных сосудов ведущей руки.

1. Core Control™ Distribution [Электронный ресурс]: офиц. сайт. – Режим доступа: <http://www.corecontroldistribution.com>

2. AVACoreTechnologies, Inc. [Электронный ресурс]: офиц. сайт. – Режим доступа: <https://www.avacore.com>

3. dhamaUSA [Электронный ресурс]: офиц. сайт. – Режим доступа: <https://dhamausa.com>

4. Пат. 157985 Российская Федерация, МПК А61F 7/00. Устройство для регулирования температурного режима тела человека / Л.И. Соколов, А.В. Коняхин, А.Д. Шаратинов; заявитель и патентообладатель Волог. гос. ун-т. – №2015109940/14; заявл. 20.03.2015; опубл. 20.12.2015, Бюл. № 35.

СПОСОБ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ДИСЦИПЛИНЫ

А.И. Шпанова

Научные руководители: А.А. Синицын, канд. техн. наук, доцент

О.Ю. Никифоров, начальник Управления
информатизации ВоГУ

Вологодский государственный университет
г. Вологда

Для развития системы очного и дистанционного образования учебный процесс должен быть обеспечен полноценным учебно-методическим комплексом. Одним из приоритетных направлений в области информационно-коммуникационных технологий ВоГУ является формирование комплекса дистанционных курсов по всем преподаваемым дисциплинам и создание условий для организации дистанционного обучения российского и иностранного контингента обучающихся, выполняя показатели эффективности высшего учебного заведения [1].

Преимуществом электронного учебно-методического комплекса является наличие сгруппированного материала, который включает в себя программы

лекций и практических занятий, темы рефератов, программы экзаменов и зачетов, а так же методические рекомендации студентам по освоению учебных дисциплин, списки рекомендуемой литературы [2].

Перед началом разработки такой базы был проведен обзор существующих систем дистанционного обучения. В мире создано множество аналогов, это IBM Lotus Workplace Collaborative Learning (LWCL), Oracle Learning Management, WebTutor, "Прометей", Naumen Learning, СДО "ДОЦЕНТ", LMS eLearning Server, RedClass, Competentum. Magister, Learn eXact, Moodle. Но все они имеют ряд недостатков – отсутствие русифицированной версии; необходимость знания языка HTML; неудобный интерфейс; графический образ не отображается по месту размещения, а хранится в виде ссылки; необходимо наличие определённого программного обеспечения для работы с конкретным ЭУМК и т.д.

Наиболее широко распространенная система дистанционного обучения – Moodle – разрабатывается для всего мира и распространяется свободно. Но наряду с отсутствием затрат вуза на приобретение системы, возникают проблемы с получением качественной технической поддержки, так как над исходным кодом работают множество программистов по всему миру, коммуникация между участниками разработки затруднена. Так же разработчик конкретного модуля не имеет четкого представления об архитектуре системы и не может в приемлемые сроки диагностировать возникшую проблему у пользователя. Следовательно, вузы сталкиваются с необходимостью иметь в штате высококвалифицированного специалиста для развертывания и поддержки системы. Сумма затрат учебного заведения на оплату труда такого специалиста в год, по нашим подсчетам, может превысить стоимость внедрения коммерческой СДО.

Все аналоги в России защищены лишь авторским правом, что является недостаточным для качественной защиты таких систем. Планируется, что предлагаемая система будет защищена помимо авторского права еще и патентным законодательством, как это делается в зарубежных вузах. Это увеличит надежность разрабатываемого ЭУМК. В связи с этим создание подобной электронной базы ЭУМК актуально и востребовано.

В работах [3] и [4] проведены исследования по созданию подобных систем, но практический результат в настоящее время не получен.

Предполагается, что все мультимедийные материалы будут храниться в одном файле базы данных. К таким материалам можно отнести тексты лекций, презентации, иллюстрации, видео- и аудио-файлы и т.п. Загружать файлы в базу данных и извлекать из нее будет возможно с помощью специального универсального приложения, а воспроизводить через встроенные средства операционной системы.

Обобщенная структурная схема реализации способа (см. рис.1) включает 5 основных укрупненных блоков: 1 – приложение для работы с ЭУМК, 2 –

база данных для хранения материалов ЭУМК, 3 – пользователь ЭУМК, 4 – мультимедийные файлы различных форматов; 5 – средства операционных систем для воспроизведения мультимедийных файлов.

Приложение реализует 3 основных функции: интерфейс для доступа к ЭУМК, загрузка материалов, выгрузка материалов. Все материалы сгруппированы по разделам (см. рис. 2). В каждом разделе отображается текущий список загруженных материалов.

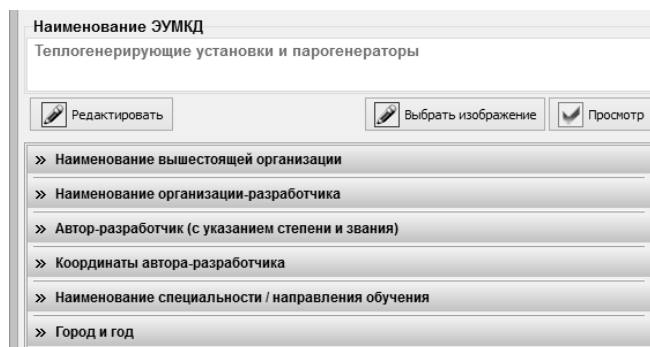
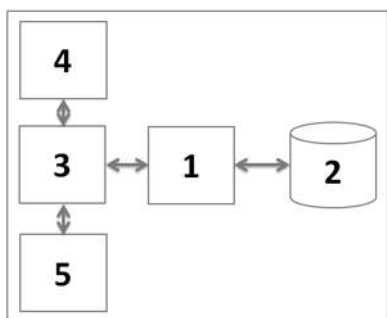


Рис. 1. Схема реализации способа для доступа к материалам

Рис. 2. Фрагмент интерфейса

Файл базы данных храниться в одном каталоге с приложением, что облегчает перенос ЭУМК с одного компьютера на другой. Мультимедийные файлы различных форматов загружаются в ЭУМК пользователем через интерфейс приложения.

Использование данного способа существенно упрощает создание и использование ЭУМК, расширяет возможности авторов при использовании материалов разных форматов, повышает мобильность ЭУМК.

После создания такой системы дистанционного обучения необходимо провести апробацию в учебно-образовательном процессе, анализ и оценку качества со стороны обучающихся и преподавателей. Планируется систематическая апробация на обучаемых ВоГУ с доработкой, актуализацией и модернизацией данной разработки.

Дальнейшие перспективы исследования могут быть сформулированы в виде следующих разработок по дисциплине «Теплогенерирующие установки»:

1. Разработка иллюстрационного лекционного материала с элементами интерактивности и наглядности (основы подобных систем приведены в работе [1]).

2. Формирование наглядного учебного пособия для курсового проектирования, формат пояснительной записки и чертежей которого будет достаточно точно приближен к действующим форматам ПЗ рабочих проектов по проектированию котельных малых мощностей.

3. Создание комплекса контрольно-измерительных материалов (КИМ) для анализа эффективности обучения дисциплине и принятия решения по усилению тех или иных разделов лекционного материала и практических работ.

1. Шпанова А.И. Разработка электронного образовательного ресурса по курсу дисциплины «Теплогенерирующие установки» [Текст] // Теплогазоснабжение, вентиляция, кондиционирование и промышленная теплоэнергетика: материалы Межрегиональной науч. конф. IX ежегодной научной сессии аспирантов и молодых ученых. – Вологда, 2015. – С. 134-137.

2. Татаринцев А. И. Электронный учебно-методический комплекс как компонент информационно-образовательной среды педагогического вуза [Текст] // Теория и практика образования в современном мире: материалы междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, февраль 2012 г.). – СПб.: Реноме, 2012. – С. 367-370.

3. Синицын А.А., Тимошенко П.О. Основные результаты разработки электронных образовательных ресурсов на основе имитационного моделирования физических процессов [Текст] // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования: материалы 5-й Международной научно-технической конференции. – Вологда, 2009. – С. 141-145.

4. Синицын А.А., Тимошенко П.О. Опыт создания электронных образовательных ресурсов для теплоэнергетических специальностей [Текст] // Современные информационные технологии в науке, образовании и практике: материалы VIII всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Оренбург, 2009. – С. 470-474.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТЕПЛОВОЙ РАБОТЫ МОКРОЙ ГРАДИРНИ ВЕНТИЛЯТОРНОГО ТИПА

Т.М. Юрова

*Научный руководитель С.В. Лукин, д-р техн. наук, профессор
Череповецкий государственный университет
г. Череповец*

Для оценки работы действующей градирни на ЧерМК ПАО «Северсталь» в процессе эксплуатации и реконструкции необходимо произвести технологический (тепловой и аэродинамический) расчет.

Расход воды (гидравлическая нагрузка $G_{\text{ж}}$) обычно задается технологами производства. Расход воздуха определяется аэродинамическим расчетом градирни. Температура входящей воды t_1 и выходящей t_2 воды устанавливаются технологами производства.

Рассмотрим стационарный процесс тепломассообмена в простейшей пленочной градирне, в которой вода и воздух приводятся в непосредственный контакт друг с другом по схеме противотока.

Тепловой поток, кВт, отдаваемый в градирне водой и воспринимаемый воздухом, представляется в следующем виде:

$$Q = c_{\text{ж}} \cdot [G_{\text{ж}} \cdot (t_1 - t_2) + G_{\text{и}} \cdot t_2] = G_{\text{в}} \cdot (h_2 - h_1), \quad (1)$$

где $c_{\text{ж}}$ – теплоемкость воды, кДж/кг; $G_{\text{ж}}$, $G_{\text{и}}$, $G_{\text{в}}$ – массовые расходы воды, подаваемой на охлаждение, испарившейся воды, и охлаждающего воздуха, кг/с; t_1 , t_2 – температуры охлаждаемой воды на входе и выходе из градирни; h_1 , h_2 – энтальпии охлаждающего воздуха на входе и выходе из градирни, кДж/кг.

Материальный баланс влаги определяется равенством между количеством испарившейся жидкости и приращением влагосодержания воздуха:

$$G_{\text{и}} = G_{\text{в}} \cdot (x_2 - x_1), \quad (2)$$

где x_1 и x_2 – влагосодержание в воздухе на входе и выходе из градирни, кг/кг.

С учетом того, что $h_2 - h_1 \cong r \cdot (x_2 - x_1)$, где r – теплота испарения водяного пара, кДж/кг, то выражение (1) несколько упрощается путем ряда преобразований с использованием (2) и получается:

$$Q = \frac{1}{K} \cdot G_{\text{ж}} \cdot \Delta t \cdot c_{\text{ж}} = G_{\text{в}} \cdot (h_2 - h_1), \quad (3)$$

где $\Delta t = t_1 - t_2$; $K = 1 - c_{\text{ж}} \cdot t_2 / r = 1 - 0,00173 \cdot t_2$.

При моделировании тепловой работы градирни задаются расходы и начальные параметры воды и воздуха, а конечные параметры t_2 , h_2 , x_2 считаются неизвестными.

Величина Q может быть найдена также из уравнения теплопередачи, учитывающего перенос теплоты за счет тепломассообмена [1]:

$$Q = \beta_{\text{хв}} \cdot \int_0^V (h'' - h) dV = \beta_{\text{хв}} \cdot \Delta h_{\text{ср}} \cdot V, \quad (4)$$

где V – объем оросителя, где происходит тепломассообмен между водой и воздухом, м³; $\beta_{\text{хв}}$ – объемный коэффициент массоотдачи, кг/(м³·с); h'' , h – энтальпии воздуха на поверхности воды и в объеме охлаждающего воздуха в данном сечении оросителя, кДж/кг:

$$h'' = c_{\text{в.с.}} \cdot t + (r + c_{\text{п}} \cdot t) \cdot x''; \quad h = c_{\text{в.с.}} \cdot \theta + (r + c_{\text{п}} \cdot \theta) \cdot x,$$

где t , θ – температуры воды и воздуха в данном сечении оросителя, °С; $c_{\text{в.с.}}$, $c_{\text{п}}$ – теплоемкости сухого воздуха и водяного пара, кДж/(кг·К); r – теплота испарения водяного пара, кДж/кг; x'' – влагосодержание в насыщенном воздухе при температуре воды t ; x – влагосодержание охлаждающего воздуха.

Объединяя уравнения (3) и (4), получим:

$$Q = \frac{1}{K} \cdot G_{\text{ж}} \cdot \Delta t \cdot c_{\text{ж}} = G_{\text{в}} \cdot (h_2 - h_1) = \beta_{\text{хв}} \cdot \Delta h_{\text{ср}} \cdot V. \quad (5)$$

Для элементарного объема оросителя dV , принимая $K = \text{const}$, напишем:

$$dQ = \frac{1}{K} \cdot G_{\text{ж}} \cdot c_{\text{ж}} \cdot dt = G_{\text{в}} \cdot dh = \beta_{\text{хв}} (h'' - h) dV. \quad (6)$$

Из (5) для энтальпии уходящего воздуха имеем:

$$h_2 = h_1 + \frac{G_{\text{ж}} \cdot \Delta t}{K \cdot G_{\text{в}}} = h_1 + \frac{t_1 - t_2}{K \cdot \lambda}, \quad (7)$$

где $\lambda = G_{\text{в}}/G_{\text{ж}}$ – относительный расход воздуха, кг/кг.

Подставляя в (7) вместо t_1 и h_2 промежуточные (текущие) значения этих величин t и h , получим следующую зависимость между энтальпией воздуха и температурой воды в каждом сечении оросителя:

$$h = h_1 + \frac{t - t_2}{K \cdot \lambda}. \quad (8)$$

Из (5) и (6) могут быть получены формулы для подсчета объема V :

$$V = \frac{G_{\text{ж}} \cdot \Delta t \cdot c_{\text{ж}}}{K \cdot \beta_{\text{хв}} \Delta h_{\text{ср}}} = \frac{G_{\text{в}}}{\beta_{\text{хв}}} \int_{h_1}^{h_2} \frac{dh}{h'' - h} = \frac{G_{\text{ж}} \cdot c_{\text{ж}}}{K \cdot \beta_{\text{хв}}} \int_{t_2}^{t_1} \frac{dt}{h'' - h}.$$

При этом $\Delta h_{\text{ср}}$ может быть представлено как:

$$\Delta h_{\text{ср}} = \frac{\Delta t}{\int_{t_2}^{t_1} dt / (h'' - h)} = \frac{h_2 - h_1}{\int_{h_1}^{h_2} dh / (h'' - h)} = \frac{c_{\text{ж}} \cdot \Delta t}{K \cdot \lambda \cdot \int_{h_1}^{h_2} dh / (h'' - h)}. \quad (9)$$

В расчетные формулы (5) – (9) входит объемный коэффициент массоотдачи $\beta_{\text{хв}}$, отнесенный к разности влагосодержаний воздуха. Представляем в виде графика зависимости [1]:

$$\beta_{\text{хв}} = A \cdot \lambda^m \cdot q_{\text{ж}}, \quad (10)$$

где A , m – параметры оросителя; $q_{\text{ж}} = G_{\text{ж}}/F$ – удельный расход воды; $F = V/H$ – площадь оросителя в плане; H – высота оросителя.

Решая совместно (5) и (10), получаем:

$$A \cdot H \cdot \lambda^m = \frac{c_{\text{ж}} \cdot \Delta t}{K \cdot \Delta h_{\text{ср}}} = \text{Ме}, \quad (11)$$

где Ме – безразмерный критерий.

Среднюю разность энтальпий $\Delta h_{\text{ср}}$ можно найти по способу Симпсона:

$$\Delta h_{\text{ср}} = \frac{t_1 - t_2}{\int_{t_2}^{t_1} dt / (h'' - h)},$$

где h определяется как функция текущей координаты t по (8), а значения t задаются шагом отрезков при вычислении интеграла. Удельная энтальпия насыщенного воздуха у поверхности воды, кДж/кг, определяется как:

$$h'' = \left[1,005 \cdot t + \frac{\rho_t'' \cdot R_{\text{в}} \cdot (t + 273,2)}{p_6 - p_t''} \cdot (r + 1,97 \cdot t) \right]; \quad (12)$$

удельная энтальпия воздуха в ядре потока на входе в градирню, кДж/кг:

$$h_1 = \left[1,005 \cdot \theta + \frac{\varphi \cdot \rho''_{\theta} \cdot R_{\text{в}} \cdot (\theta + 273,2)}{p_{\text{б}} - \varphi \cdot p''_{\theta}} \cdot (r + 1,97 \cdot \theta) \right]. \quad (13)$$

Обозначения в (12) и (13): t – температура воды в данном сечении оросителя, °С; θ – температура атмосферного воздуха по сухому термометру, °С; φ – относительная влажность атмосферного воздуха; $p_{\text{б}}$ – барометрическое давление, Па; ρ''_t, p''_t – плотность и давление насыщенного водяного пара при температуре t , кг/м³, Па; ρ''_{θ} и p''_{θ} – плотность и давление насыщенного водяного пара при температуре θ , кг/м³, Па; $r = 2493$ – удельная теплота парообразования, кДж/кг; $R_{\text{в}} = 287$ – газовая постоянная сухого воздуха, Дж/(кг·К); $c_{\text{ж}} = 4,19$ – удельная теплоемкость воды, кДж/(кг·К).

Величины ρ''_t , кг/м³, p''_t , Па, определяются по таблицам для насыщенного водяного пара. В диапазоне температур 15÷40 °С их можно аппроксимировать с величиной достоверности аппроксимации $R^2 = 0,9993$ выражениями:

$$\begin{aligned} \rho''_t &= 5,712 \cdot \exp(0,0554 \cdot t) \cdot 10^{-3}; \\ p''_t &= 726,1 \cdot \exp(0,0585 \cdot t). \end{aligned} \quad (14)$$

Искомая температура t_2 находится по формуле:

$$t_2 = t_1 - A \cdot \lambda^m \cdot h \cdot K \cdot \Delta h_{\text{ср}} / c_{\text{ж}}. \quad (15)$$

Для того чтобы использовать формулу (15), предварительно нужно найти характеристики существующего оросителя A, m , а также расход воздуха $G_{\text{в}}$, подаваемого вентилятором. При этом будут использованы экспериментальные данные по существующей действующей градирне.

1. Пономаренко В.С., Арефьев Ю.И. Градирни промышленных и энергетических предприятий. Справочное пособие // М.: Энергоатомиздат, 1998. – 376 С.

Секция «СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ
ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ»

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСПОРТИРОВКИ ЖИДКОСТИ
ПОД ВАКУУМОМ

А.С. Абрамов

Научный руководитель А.А. Кулаков, канд. техн. наук

Вологодский государственный университет

г. Вологда

В сфере водоотведения появилась альтернатива самотечной канализации – вакуумный метод перекачивания жидкости. Основными преимуществами данного метода являются:

- отсутствие требований к уклонам трубопроводов;
- меньший диаметр трубопроводов;
- увеличение свободы и гибкости в реализации проекта;
- исключение возможности протечки;
- более высокий уровень гигиены;
- меньшая вероятность заиливания системы.

В целом достигается экономический эффект 35-40 % в сравнении с самотечной канализацией.

Целью данного исследования является изучение характеристик перекачки жидкости под вакуумом.

Исследования проводились в лабораторных условиях

Для создания установки потребовалось 2 емкости из твердого прозрачного материала. Для наглядности было выбрано стекло. Схема сооружения представлена на рис.1. В левой части располагается всасывающий открытый мерный резервуар, в котором находится погруженный в воду шланг $d_{\text{внутр}}=5$ мм, закрепленный на полипропиленовой трубе. Из данной емкости вода по соединяющему патрубку поступает в приемную герметично закрытую емкость. Принцип перекачивания заключается в разности давлений. В открытом резервуаре на уровень жидкости действует атмосферное давление, а в приемной камере за счет откачивания воздуха вакуумный насосом, получаем пониженное давление (вакуум), в результате этого осуществляется транспортировка воды.

Целью эксперимента являлось получение зависимости расхода перекачиваемой жидкости от разности отметок в резервуарах и создаваемого вакуума.

В двух системах устанавливаются отметки относительно оси сравнения – Z_1 и Z_2 . Перекачивался 1 л воды и каждые 100 мл делался замер. За один опыт проводилось 7 повторений на каждом давлении. Таблица результатов представлена ниже.

Исследуемые характеристики:

p – давление в приемной камере, МПа;

ΔV – разность отметок уровня, л;

$T_{\text{ср.}}$ – среднее время перекачивания, с;

Q – расход, л/мин;

Δh – разность отметок ($Z_1 - Z_2$), м.

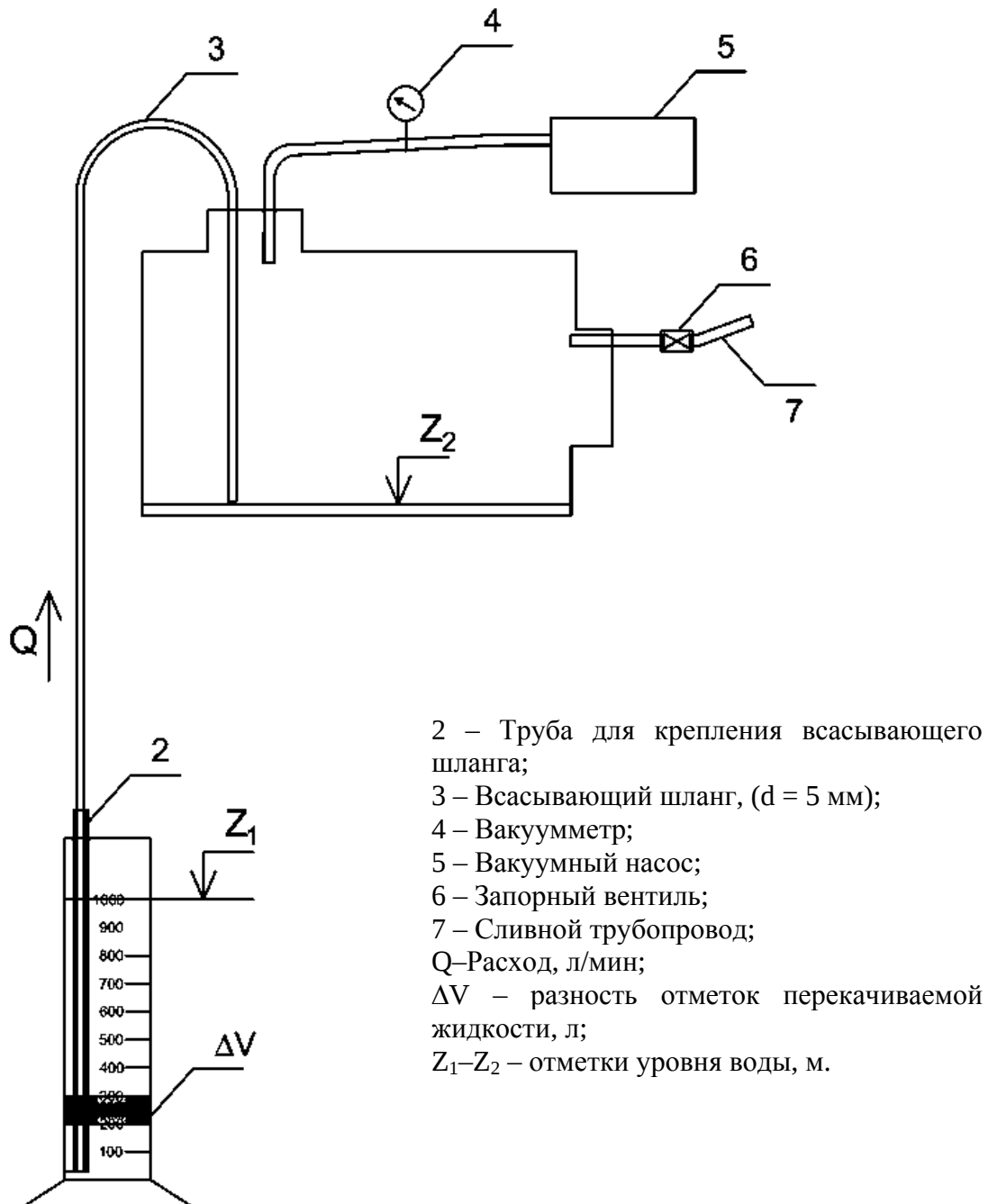


Рис. 1. Чертеж установки

Таблица 1

Зависимость расхода от давления (при $\Delta h = 0,6$ м)

№ п/п	p, МПа	Q, л/мин	Средний расход л/мин.
1	0,25	1,07 – 1,08	1,07
2	0,3	1,21 – 1,23	1,22
3	0,35	1,35 – 1,37	1,36
4	0,4	1,47 – 1,48	1,48
5	0,45	1,58 – 1,60	1,59
6	0,5	1,67 – 1,71	1,69
7	0,55	1,79 – 1,83	1,80
8	0,6	1,84 – 1,90	1,87
9	0,65	2,01 – 2,02	2,01
10	0,7	2,02 – 2,06	2,03
11	0,75	2,13 – 2,18	2,17
12	0,8	2,19 – 2,21	2,21
13	0,85	2,30 – 2,33	2,31

Также получили следующие зависимости расхода от давления, которые представлены на рисунке 2.

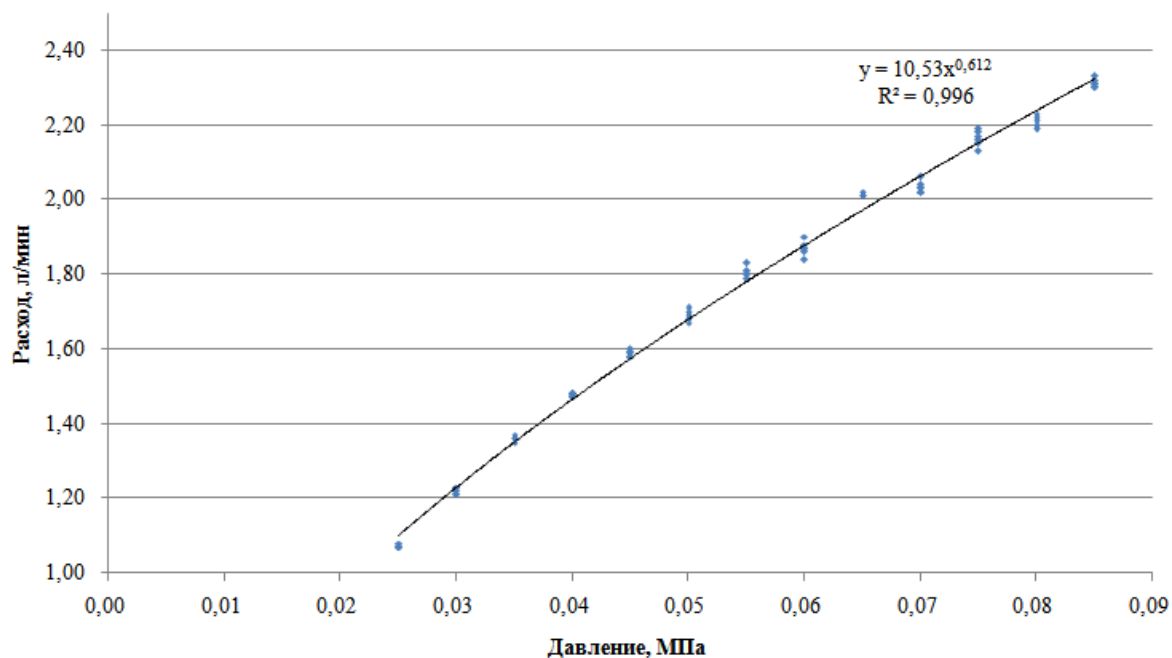


Рис. 2. Зависимость расхода от давления

В результате проведенных исследований получена степенная зависимость расхода от давления при одинаковых разностях отметок. Незначительные изменения отметок в двух емкостях не сказывалось на измерениях.

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ВОЖЕГОДСКОГО ГОРОДСКОГО ПОСЕЛЕНИЯ

Р.А. Богачев

Научный руководитель Е.А. Мезенева, канд. техн. наук, доцент

Вологодский государственный университет

г. Вологда

На основании Федерального закона от 7 декабря 2011 г. № 416-ФЗ "О водоснабжении и водоотведении» и постановления правительства РФ от 5 сентября 2013 г. №782 «О схемах водоснабжения и водоотведения» был проведен анализ технического состояния систем водоснабжения п. Вожега и Вожегодского городского поселения.

Вожегодское городское поселение Вожегодского муниципального района Вологодской области расположено в центральной части Вожегодского района. Общая площадь Вожегодского городского поселения в существующих границах составляет 55460,33 га, население – 7510 человек, 49 населенных пунктов, из которых 24 – нежилые. Основная отрасль промышленности – лесозаготовительная, основные направления сельского хозяйства – молочное животноводство и кормоводство.

На территории Вожегодского городского поселения используется 13 скважин с глубинными насосами подъема воды из скважин. Десять скважин расположены в п. Вожега, где вода из скважин подается в сеть. На скважинах установлена частотная автоматика, которая поддерживает постоянное давление в системе. Две скважины расположены в д. Б-Климовская и п. Молодежный. Данные скважины подают исходную воду непосредственно в водопроводную сеть потребителям, на скважинах установлена частотная автоматика.

Подземные воды приурочены к водоносной верхнеказанской карбонатной серии верхней перми, сложенной трещиноватыми известняками и песчаниками. Химический состав вод очень разнообразен. Подземные воды гидрокарбонатные, кальциево-магниевый с минерализацией 0,2-0,4 мг/л.

Качество воды источников водоснабжения не соответствует требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01[1] по показателям мутности, цветности, железо общее. На протяжении всего срока эксплуатации скважин химический состав подземных вод не очень стабилен. Некоторые показатели изменяются, некоторые держаться примерно на одном уровне. Постоянные превышения есть по железу (до 3,6 мг/дм³), цветности (до 70 град.), мутности (до 12 мг/дм³), окисляемости (до 32,8 мг О₂/дм³). Остальные показатели также меняют свои значения, но не превышают предельно допустимых значений. Превышение упомянутых показателей имеет региональный характер и обусловлено естественными процессами формирования качества подземных вод [2].

Фактическое потребление воды за 2015 год составило 254127 м³/год, в средние сутки 696,2 м³/сут., в сутки максимального водоразбора 870,3 м³/сут. К 2024 году ожидаемое водопотребление с учетом снижения удельного водопотребления жителями на 25% от нормативного значения составит 216008 м³/год, в средние сутки 591,8 м³/сут, в максимальные сутки расход составит 739,7 м³/сут. Распределение воды по видам потребителей представлено на рисунке 1.

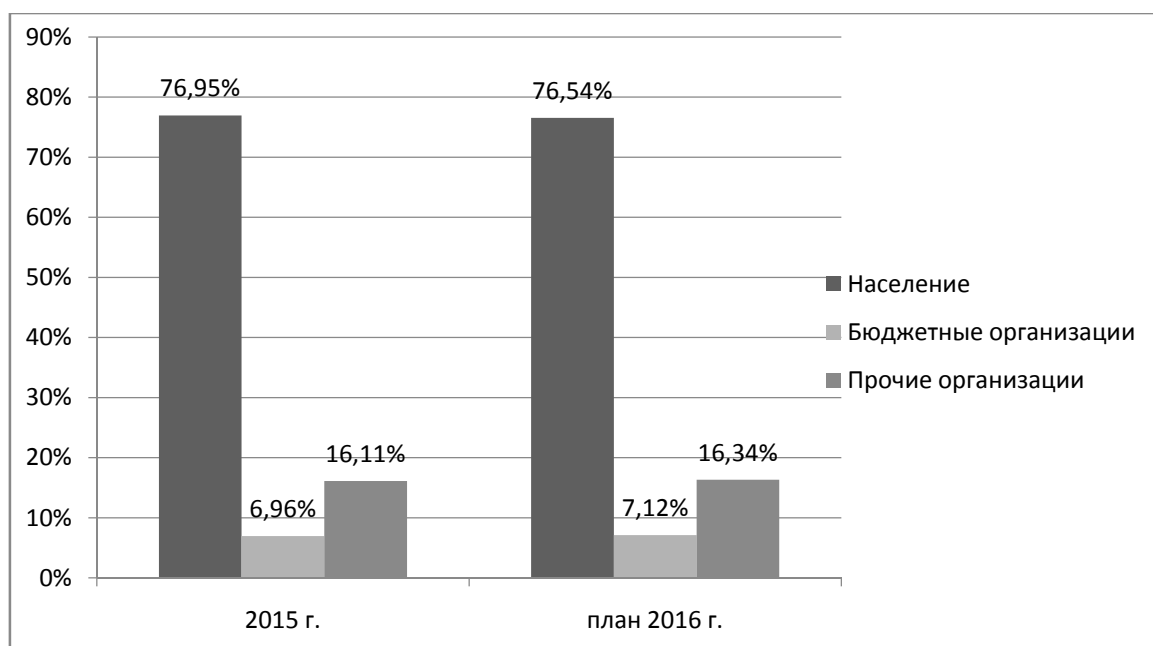


Рис. 1 . Распределение воды по видам потребителей

Динамика увеличения присоединяемых водопотребителей (м³/сут) вновь построенных жилых домов приведена на рисунке 2.

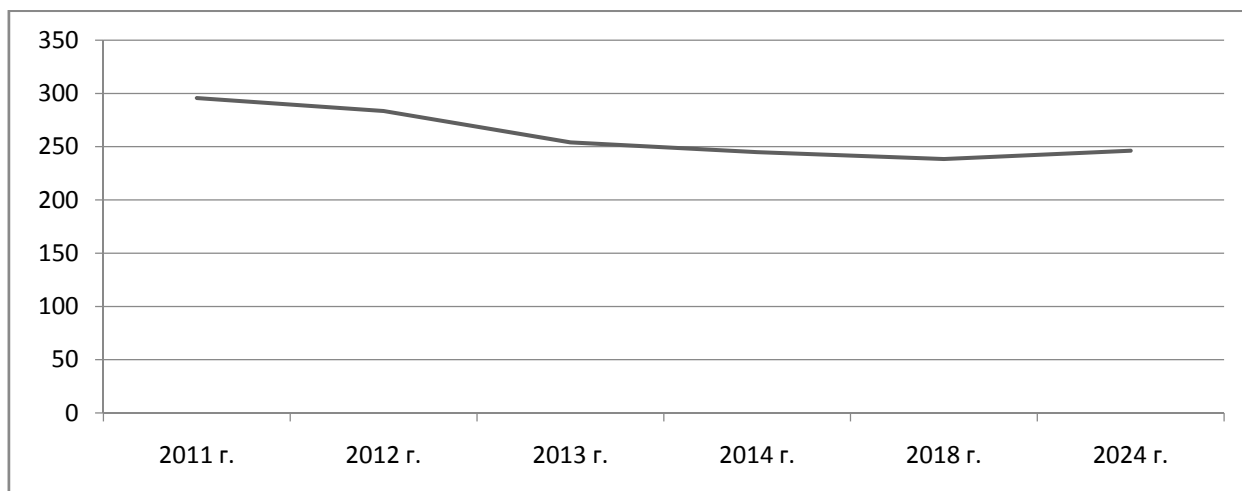


Рис. 2 Динамика уменьшения присоединяемой нагрузки

Техническое состояние системы водоснабжения характеризуется высокой степенью износа зданий, технологического оборудования и водопроводных сетей. Общая протяженность водопроводных сетей, обеспечивающих холодным водоснабжением население и организации – 50229,9 м. О степени износа можно судить исходя из аварийности – количество аварий составляет – 0,8 аварий на 1 км сетей в год.

Основные проблемы функционирования системы водоснабжения:

- высокая степень износа зданий и оборудования функциональных элементов системы;
- отсутствие водоочистки на большинстве артезианских скважин;
- высокая ресурсоемкость производства;
- низкая энергоэффективность оборудования;
- высокие показатели аварийности на сетях;
- высокие потери воды при транспортировке;
- в ряде районов пос. Вожега отсутствует централизованное водоснабжение.

На основе анализа технического состояния системы водоснабжения Вожегодского городского поселения с целью улучшения работы системы разработан перечень основных мероприятий по улучшению работы систем водоснабжения.

1. Проведение ремонта и реконструкция существующих водопроводных скважин, водонапорных башен и сетей в населенных пунктах городского поселения.

2. Реконструкция водопроводных сетей в п. Вожега протяженностью 3672 п.м.

3. Приобретение фильтров для очистки воды в зависимости от результатов лабораторных анализов проб воды

4. Установка водомеров на вводах водопровода во всех зданиях для осуществления первичного учета расходования воды отдельными потребителями.

5. Оборудование существующих скважин приборами учета отбираемой из скважин воды.

6. Замена или капитальный ремонт насосного оборудования ВЗУ с большим процентом износа.

7. Разработка проектов и обустройство зон санитарной охраны водозаборов и водопроводных сооружений.

8. Ремонт колонок общественного пользования.

9. Строительство станции водоочистки.

10. Капитальный ремонт зданий скважин.

11. Строительство наружных инженерных сетей водопровода во всех микрорайонах поселка.

12. Прочистка, разглинизация 13 скважин.

1. СанПиН 2.1.4.1074-01 | ПИТЬЕВАЯ ВОДА. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. – М. : Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2002. – 103 с.

2. Схема водоснабжения и водоотведения Вожегодского городского поселения Вожегодского муниципального района Вологодской области 2014 год 56 с.

ПРИМЕНЕНИЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ РЯДОВ НАБЛЮДЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СХЕМ УТИЛИЗАЦИИ СНЕГА НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА ВОЛОГДЫ

Е.В. Булавина

Научный руководитель Е.А. Лебедева, канд. техн. наук, доцент
Вологодский государственный университет
г. Вологда

Для большей части территории России характерно выпадение большого количества твердых осадков в продолжительный зимний период и сохранение снежного покрова в течение длительного времени. На территории городов твердые осадки создают трудности для передвижения городского транспорта и пешеходов, поэтому качественная и своевременная зимняя уборка улиц является необходимым условием для обеспечения нормальной работы городского наземного транспорта и безопасности дорожного движения.

Согласно [1] мероприятия по утилизации снега должны проектироваться на основе комплексной генеральной системы снегоудаления города или его района, являющейся составной частью генеральных схем инженерного оборудования города.

В основу системы должны быть положены закономерности формирования объемов выпавшего снега и данные о загрязнении снежного покрова. Постоянные колебания метеорологических условий, изменение высоты снежного покрова, увеличение площади убираемых покрытий, новые технологии уборки снега требуют внесения изменений в исходные данные для расчета объемов вывоза и утилизации снега на территории города.

Исследование проблемы усовершенствования утилизации снега на территории города Вологды с учетом актуальных региональных климатических и метеорологических особенностей природной среды является важной задачей, с помощью решения которой в будущем будет решена проблема повышения эффективности отвода с территорий дождевых и талых вод, которые при их избытке приводят к разрушению фундаментов и элементов зданий, затоплению подвалов, разрушению дорожного полотна, эрозии грунта, общему нару-

шению растительного покрова на территории и, как следствие, заболачиванию.

Целью работы является выделение комплекса региональных метеорологических характеристик и их актуализация путем статистической обработки многолетних рядов метеорологических наблюдений на метеостанции «Вологда».

Основными метеорологическими характеристиками, положенными в основу расчета поверхностного стока являются климатические параметры холодного и теплого периодов года, представленные в СП 131.13330.2012 «Строительная климатология» [2].

Архив данных основных метеорологических наблюдений с 1966 по 2015 год представлен на официальном сайте ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – мировой центр данных». Массив содержит данные восьмисрочных наблюдений за основными метеорологическими параметрами с 1966 года. Точность данных соответствует точности измерения метеорологических параметров, указанной в «Наставлениях метеорологическим станциям и постам», вып. 3, часть 1, 1985. Все элементы проконтролированы на допустимые значения, элементам массива присвоены признаки качества, позволяющие отсеять сомнительные данные [3].

Климатические параметры для станций Вологодской области (Вологда, Вытегра, Никольск, Тотьма), рассчитаны за период наблюдений 1966-2010 гг. Однако, в тексте [2] указано, что при разработке территориальных строительных норм (ТСН) уточнение климатических параметров должно производиться с учетом метеорологических наблюдений за период после 1980 г.

Следует иметь в виду, что региональные тренды выявляются на фоне изменений с периодом нескольких десятилетий, так что нельзя с уверенностью утверждать именно о наличии тренда, а не определенной фазы таких колебаний.

Анализ многолетних изменений атмосферных осадков на метеостанции «Вологда» за 1980-2015 гг. представлен на рисунке 1.

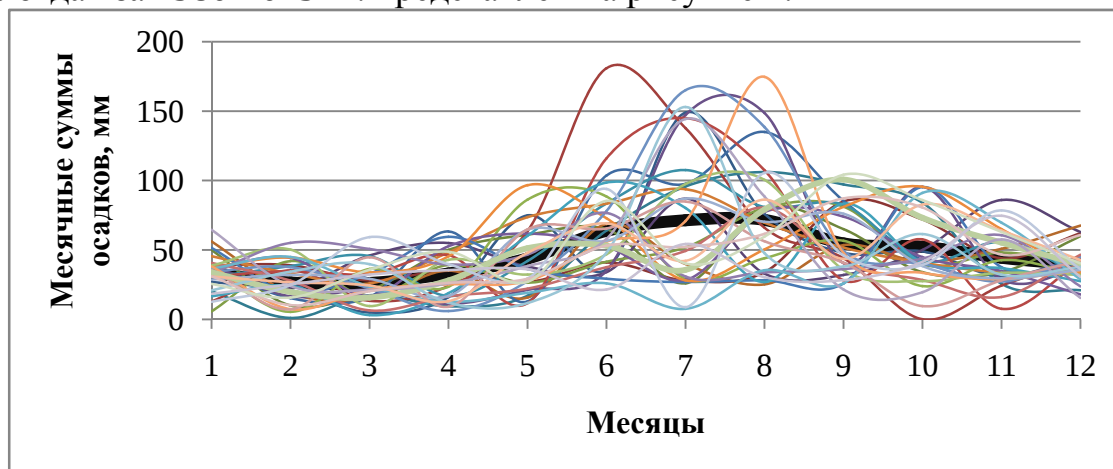


Рис. 1. Графики месячных сумм осадков на метеостанции «Вологда» за 1980-2015 гг. Условные обозначения: тонкие кривые – месячные суммы осадков за различные годы с 1980 по 2015; толстая черная линия – среднее многолетнее значения

Из графика следует, что в многолетнем срезе максимальные амплитуды среднемесячного количества осадков отмечаются в теплый период года (с мая по сентябрь). В холодный период года многолетние колебания среднемесячного количества осадков существенно более сглажены.

По данным метеостанции "Вологда" максимальные месячные суммы атмосферных осадков приурочены к летнему периоду (с июня по сентябрь). Максимальные месячные суммы осадков представлены на рисунке 2. Минимальные месячные суммы атмосферных осадков отмечались в различные сезоны года однако преимущественно это происходит в феврале-марте (рисунок 3).

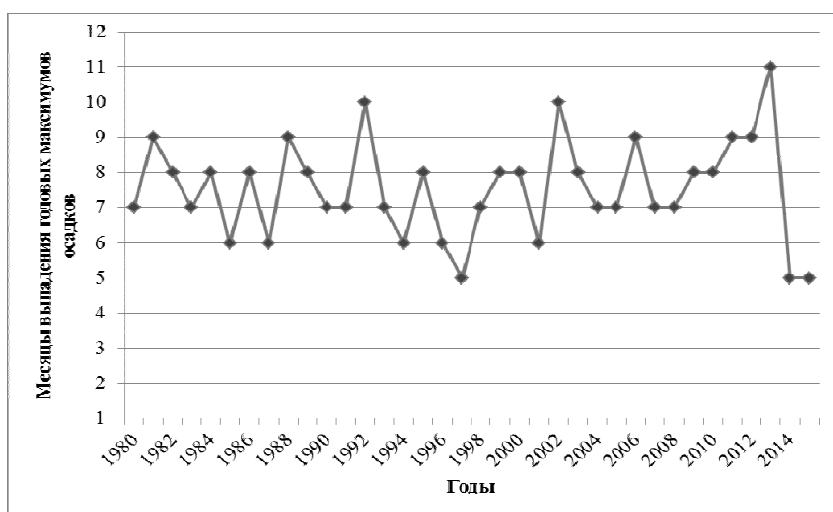


Рис. 2. График распределения максимальных месячных сумм осадков по сезонам года за период с 1980 по 2015 гг.

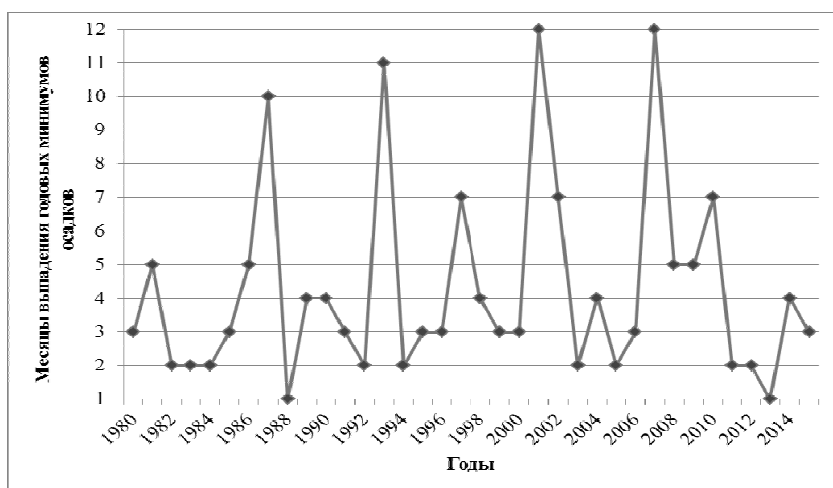


Рис. 3. График распределения минимальных месячных сумм осадков по сезонам года за период с 1980 по 2015 гг.

Температура приземного слоя воздуха является важным параметром, определяющим условия увлажнения территории. График сезонного хода среднемесячных температур по метеостанции «Вологда» представлен на

рис. 4. Видно, что наибольшим разбросом температур относительно многолетних среднемесячных величин характеризуется январь, февраль, март и декабрь.

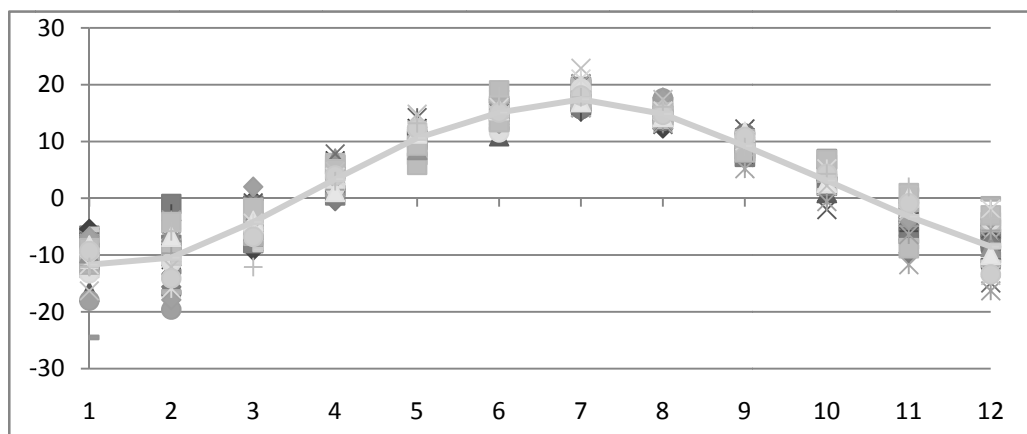


Рис. 4. График многолетних среднемесячных температур приземного слоя воздуха на метеостанции «Вологда» за 1980-2013 гг. Условные обозначения: маркеры – среднемесячные температуры за различные годы; толстая линия – среднемноголетние значения

Анализ среднегодовой температуры показывает тенденцию к росту. При анализе многолетних рядов температур за различные сезоны года наибольшая тенденция к росту наблюдается в зимний период.



Рис. 5. График среднегодовых температур за период наблюдений с 1980 по 2015 гг.



Рис. 6. График многолетних температур в зимний период с декабря по февраль за период наблюдений с 1980 по 2015 гг.

Таким образом, тенденция к росту температуры приводит к изменениям пропорции между жидкими и твердыми осадками в течение года, но больше всего, в зимний период с декабря по февраль, что отражается на таких характеристиках снежного покрова, как высота, плотность, запас воды в снеге, продолжительность залегания, что необходимо учитывать при проектировании схем утилизации снега и миграции загрязнителей в окружающей среде.

1. Руководство по проектированию городских улиц и дорог / Центр. н.-и. и проектный ин-т по градостроительству Госгражданстроя. – М.: Стройиздат, 1980. – 222 с.

2. СП 131.1330.2012. Свод правил. Строительная климатология: актуализированная редакция СНиП 23-01-99: утв. Минрегионом РФ 30.06.2012 №275. – Введ. 01.01.2013. – Москва: Минрегион России, 2012. – 109 с.

3. Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой Центр Данных [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://meteo.ru/data/158-total-precipitation>.

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ШЛАМА

М.И. Вахромеева, А.С. Евтушенко

Научный руководитель Ю.А. Морева, канд. техн. наук, доцент

Магнитогорский государственный технический университет

им. Г.И. Носова

г. Магнитогорск

Проблема обработки и утилизации осадков является одной из самых важных для большинства городов, населенных пунктов и промышленных предприятий. Накапливание необработанных осадков на иловых площадках, отвалах, карьерах приводит к нарушению экологической безопасности и угрозе жизни и здоровья населения.

Огромное количество частично обезвоженного и недостаточно стабилизированного осадка образуется за продолжительный период использования станций очистки сточных вод. Главной целью обработки осадков сточных вод является уменьшения их объемов и подготовки к последующему размещению, а также их использование или утилизация с соблюдением санитарно-технических норм и регламентов для окружающей среды с поддержанием ее благоприятного состояния.

Обезвоживание осадков сточных вод в настоящее время является серьезной проблемой. Большинство предприятий осуществляют обезвоживание осадка на песковых и иловых площадках, а также используют полигоны для их складирования.

Однако вследствие выделения вредных веществ и возможного загрязнения грунтовых вод, полигоны являются экологически опасными объектами. Рекультивация требует серьезных экономических затрат по окончании эксплуатации. Решением проблемы может стать внедрение установки по механическому обезвоживанию с последующим сжиганием осадка [1].

В настоящее время учеными проводятся исследования, разрабатываются новые технологии и оборудование для решения проблем обезвоживания осадков сточных вод.

Технологические процессы и оборудование, применяемые для обезвоживания осадков сточных вод, можно классифицировать по виду механического воздействия на их структуру:

- обезвоживание осадков под действием разряжения;
- обезвоживание осадков под действием давления;
- обезвоживание осадков в поле центростремительных сил;
- обезвоживание осадков на вакуум-фильтрах [2].

На сегодняшний день наиболее распространено обезвоживание осадков в центрифугах и ленточных фильтр-прессах, что обусловлено их надежностью и экономической эффективностью. Наиболее дорогими фильтр-прессами являются камерные, которые используются в горнодобывающей промышленности и на других крупных предприятиях. Гидравлические прессы являются дорогостоящим оборудованием, которое отвечает строгим требованиям санитарно-гигиенических норм. Для обезвоживания осадков, содержащих волокнистый материал, применяют шнековые прессы, которые часто используют на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности [3].

Фильтр-прессы применяют для обработки сжимаемых аморфных осадков в тех случаях, когда осадок направляют после обезвоживания на сушку или сжигание, либо, когда необходимо получить осадки с минимальной влажностью. Фильтр-пресс целесообразно использовать для обезвоживания осадков промышленных сточных вод с высоким содержанием минеральных составляющих.

Возможность обработки осадков без выделения песка и распространения запаха является достоинством вакуум-фильтров. Для эксплуатации вакуум-фильтров необходимо дополнительное оборудование: вакуум-насосы, воздухоудовки, ресиверы, центробежные насосы и устройства, обеспечивающие постоянную работу вакуум-фильтра. Недостатками вакуум-фильтров являются сложность управления, низкая надежность, невозможность использования органических флокулянтов для кондиционирования осадка, громоздкость, повышенный расход электроэнергии и загрязненность окружающей среды.

Не редким стало использование центрифугирования осадков. Достоинствами этого метода являются простота, экономичность и управляемость процессом, а также получение осадков низкой влажности на выходе. Такое оборудование применяется для механического разделения твердой и жидкой фаз

в смесях с различной плотностью. Процесс разделения основывается на принципе осаждения твердых частиц под действием центробежных сил. При этом процесс происходит значительно быстрее, чем при гравитации.

Для механического обезвоживания любых видов осадков, образовавшихся на хозяйственно-бытовых, промышленных, сельскохозяйственных сточных водах, также используется шнековый дегидратор.

Однако сопоставление методов и аппаратов для механического обезвоживания осадков показывает, что каждый из них имеет ряд преимуществ и ряд недостатков.

Для устранения недостатков, связанных с недостаточным обезвоживанием осадков, существуют следующие способы:

- применение ряда специальных реагентов;
- замена оборудования;
- совместное применения нескольких видов оборудования (например вакуум-фильтры и декантеры) [4].

Выбор того или иного оборудования для обезвоживания осадков сточных вод, а также метода интенсификации зависит от конкретного производства, его объемов, состава сточных вод, а также технико-экономического обоснования.

Проблема недостаточного обезвоживания шлама возникла в кислородно-конвертерном цехе (ККЦ) ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

Комплекс по обезвоживанию конвертерных шламов предназначен для приема шламовой пульпы от радиальных отстойников «грязных» оборотных циклов водоснабжения газоочисток конвертеров №1-3 и МНЛЗ №1-4.

Шламовая пульпа в количестве $300 \text{ м}^3/\text{ч}$ насосными агрегатами насосной станции шламово-кислородного хозяйства подается в блок обезвоживания БОС ККЦ, где происходят процессы сгущения, усреднения и обезвоживания шлама в среднем до 21%. После этого обезвоженный шлам железнодорожным транспортом отправляется для производства агломерата. Осветленная вода, отделенная от шлама возвращается в «грязный» оборотный цикл водоснабжения газоочисток конвертеров через камеру дегазации.

Процесс обезвоживания происходит в камерно-мембранном фильтр-прессе. На выходе получается осадок с влажностью 20-21% вместо необходимой влажности 12-15%. Это приводит к дополнительным затратам на транспортировку шлама в зимний период. Шлам, имеющий повышенную влажность, смерзается, и его необходимо отогреть для дальнейшей выгрузки. В связи с чем возникла необходимость интенсификации процесса обезвоживания осадка конвертерного шлама для его дальнейшего использования в производстве.

В качестве решения данной проблемы предлагается рассмотреть реконструкцию фильтр-пресса.

Были проведены исследования влияния различных факторов на конечную влажность осадка при имитации обезвоживания на фильтр-прессе. Результаты проведенных опытов доказали, что оптимальными параметрами операции «Просушка» осадка являются длительность 120 сек. при давлении 0,8 МПа. Исследование влияния глубины камеры фильтр-пресса на конечную влажность осадка показало, что при глубине камеры 40 мм влажность на выходе составляет в среднем 16-17%, а при глубине 30 мм – 14 – 15%. Таким образом, для получения осадка с минимальной влажностью необходимо уменьшение глубины камеры фильтр-прессов до 30 мм и применения дополнительной операции «Просушка осадка» сжатым воздухом.

При имитации процесса обезвоживания в качестве фильтрующей перегородки были использованы фильтровальные ткани с различной воздухопроницаемостью и пропускной способностью, предварительно отобранные на основании свойств суспензий. Лучшие суммарные показатели по скорости фильтрования, чистоте фильтрата (около 1 г/л), влажности и отделению осадка от фильтровальной перегородки выявлены у фильтровальной ткани артикула PRC7022.

Удельная производительность по сухому конвертерному шламу составила 80 кг/м²·час (при содержании твердой фазы в суспензии не менее 50% масс.), а влажность осадка 14 – 15%.

Снижение влажности конвертерных шламов позволит снизить потребление железорудного сырья, а соответственно, и себестоимость выплавляемой стали. Осветленная вода, полученная после обезвоживания, возвращается в системы оборотного водоснабжения конвертерного цеха. Это позволит снизить водопотребление, а также уменьшит нагрузку на водную среду Магнитогорского водохранилища.

1. Храменков С.В. Комплексное решение проблемы по разработке и внедрению современных технологий рекультивации территорий иловых площадок станций аэрации с возвращением выведенных из оборота земель // Водоснабжение и санитарная техника. – 2002. – № 12 (часть 1). – С. 17 – 20.

2. Благоразумова А.М. Обработка и обезвоживание осадков городских сточных вод: учебное пособие, часть 1. – Новокузнецк: Сиб-ГИУ, 2010. – 139 с.

3. Обезвоживание осадка [электронный ресурс] / режим доступа: http://www.purebalticsea.eu/index.php/gpsm:good_practices:ru.

4. В. С. Каминский, М. Б. Барбин, Л. Ф. Долина, К. И. Сафронова, М. С. Соколова. Интенсификация процессов обезвоживания. – 1982, с.4-6

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ РЕШЕНИЙ СОКРАЩЕНИЙ УТЕЧЕК ВОДЫ

Д.И. Великанов

Научный руководитель М.М. Медиоланская, канд. техн. наук, доцент

Вологодский государственный университет

г. Вологда

Внедрение современных технологий предотвращения утечек воды и повреждений на трубопроводах весьма актуально, позволяет решить проблемы дефицита ценного природного ресурса – пресной воды. Помимо экологического аспекта сокращение утечек снижает нагрузку на водопроводные станции, позволяет увеличить зону обслуживания населения действующими системами водоснабжения без их расширения и нового строительства, исключить отрицательное воздействие утечек воды на фундаменты и другие строительные конструкции зданий.

В данной статье рассмотрены современные решения сокращения утечек воды. Технологии, применяемые для повышения надежности трубопроводов и сокращения потерь воды. Перечислено, что способствует снижению аварийности и утечек на водопроводных сетях. Показаны основные причины, которые вынуждают бороться с утечками, и факторы определяющий высокий уровень потерь воды.

Известно, что общее водопотребление формируется техническими, социальными и другими факторами. К техническим факторам относятся конструктивные особенности водоразборной арматуры; к социальным – факторы, определяющие продолжительность выполнения процедур и количество используемой воды в повседневной жизни людей; факторы вызывающие нарушение герметичности и образования утечек воды.

Целью работы является современные пути решения сокращений и предотвращения утечек, а так же внедрение мероприятий по устранению потерь, и непроизводительных затрат воды. Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Изучить причины возникновения утечек воды.
2. Определить структуру неучтенных расходов и потерь воды.
3. Рассмотреть технологии для сокращения утечек воды.
4. Внедрить мероприятия для снижения утечек и потерь воды.

Объектом исследования является г. Вологда.

Для сокращения и устранения непроизводительных затрат и потерь воды ежемесячно производится анализ структуры, определяется величина потерь воды в системах водоснабжения, оцениваются объемы полезного водопотребления, и устанавливается плановая величина объективно неустраняемых потерь воды. Наибольшую сложность при выявлении аварийности представляет определение размера скрытых утечек воды из водопроводной сети. Их

объемы зависят от состояния водопроводной сети, возраста, материала труб, грунтовых и климатических условий и ряда других местных условий.

В таблице представлены сведения о планируемых годовых потерях воды при ее транспортировке.

Таблица

Планируемые годовые потери воды при ее транспортировке

Показатели	Ед.изм.	2013	2014	2015	2016
Подано в сеть	тыс. м ³	38145	37520	36375	36253
Потери в сетях	тыс. м ³	11329	11020	10185	10078
Потери в сетях % от поданной воды	%	29,7	29,4	28	27,8

Как видно по данным таблицы, планируемые потери воды в сетях составляют значительный высокий процент от поданной воды. Внедрение мероприятий по водосбережению, позволило бы снизить потери воды, сократить объемы водопотребления, ликвидировать дефицит воды, снизить нагрузку на водопроводные станции, повысив качество их работы, и расширить зону обслуживания при жилищном строительстве [1].

Не существует универсального технического решения и любую водопроводную сеть нужно рассматривать как отдельный случай и учитывать условия местности (почва, плотность населения, климат и т.д.), но для всех водопроводов справедлив тот факт, что негерметичность возникает там, где стоит неподходящее уплотнение. Решением этой проблемы является резинометаллическое уплотнение [2].

Как правило, качественный технически усовершенствованный уплотнительный элемент стоит дороже, чем обычное уплотнение, однако его использование уже за короткий срок окупается за счет предотвращения утечек больших объемов.

Внедрение таких уплотнений значительно повысит эффективность водоснабжения.

Ценные объемы воды, которые уходят на определённые нужды, безвозвратно теряются, попусту уходят деньги эксплуатирующих организаций на забор воды, ее обработку, подготовку и подачу конечному потребителю [3].

Для повышения надежности трубопроводов и сокращения потерь воды применяют: бестраншейные технологии восстановления и прокладки; современные запорно-регулирующие и предохранительные арматуры; автоматизированные информационные системы [4].

Ликвидация потерь и утечек позволит увеличить полезную мощность внутреннего водопровода, исключить отрицательное воздействие утечек воды на фундаменты и другие строительные конструкции зданий [5].

Потери воды в системе зависят от количества повреждений на трубопроводах систем водоснабжения, а также на других ее элементах.

Утечки из водопроводной сети приводят к значительному материальному и экологическому ущербу.

Основными причинами потерь воды являются: износ сети; эксплуатация стальных и чугунных труб, не защищенных от коррозии; повышенные напоры; большая амплитуда их колебания в течение суток; гидравлические удары; отсутствие надежных приборов для своевременного обнаружения утечек воды.

Снижению аварийности и утечек на водопроводных сетях способствует оптимизация гидравлических режимов работы системы, в том числе:

снижение напора; установка на магистральных водоводах регуляторов давления и воздушных клапанов; зонирование сетей.

Высокие скачки давления в магистральных водоканалов обусловлены неустановившимся давлением, которое может вызвать трещины, и может привести к повреждениям трубопровода. Контроль над неустановившимся давлением может значительно предотвратить повреждения и последующие утечки.

Решением данной проблемы является гидравлический контроллер обратного клапана, который предотвращает повышение давления в магистральной.

В случае внезапного прорыва воды целесообразна установка системы защиты от протечек (например, Neptun, Hidrolock, Аквасторож), которая обнаружит аварию и незамедлительно перекроет водоснабжение. Такая система значительно сократит утечки воды, возникающие из-за негерметичности в системе.

Для оперативного обнаружения утечек, применяют корреляционные теческаты. Вытекающая под напором в месте утечки вода, создает шум, который распространяется по трубе в обе стороны от места утечки. Этот шум принимается двумя датчиками, установленными на трубопроводе, и сигналы с датчиков пересылается затем по радиоканалу на коррелятор.

Изучив основные причины утечек и потерь воды, предлагаются следующие мероприятия:

- применение труб из некорродирующих материалов, а также труб с внутренним антикоррозионным покрытием;
- снижение подачи воды и напоров в сети в ночное время суток;
- применение более совершенной водопроводной арматуры и оборудования.

1. Примин, О. Пути снижения потерь воды [Электронный ресурс] / О. Примин // Коммунальный комплекс России. – 2013. – № 4 (106). – Режим доступа: <http://www.gkhprofi.ru/news.php?id=748>

2. Данилович Д.А., Чечеватова О.Ю. Эффективное предотвращение потерь питьевой воды. // Наилучшие доступные технологии для водоснабжения и водоотведения. 2016. № 4. С. 32–33.

3. Исаев В.Н., Чухин В.А., Герасименко А.В. Ресурсосбережение в системе хозяйственно-питьевого водопровода // Сантехника. 2011. №3. С.14-17.

4. Поршнеv В.Н., Новикова Л.В. Мероприятия по энергосбережению и снижению потерь воды в системах городского водоснабжения // Энергосбережение. 2004. – № 5.

5. Кармазинов Ф.В., Махнев П.П., Юдин М.Ю. Методика определения неучтенных расходов и потерь воды в системах коммунального водоснабжения. Утверждена Приказом Минпромэнерго России от 20 декабря 2004 г. № 172.

УДАЛЕНИЕ БОРА ИЗ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

А.В. Верняева

Научный руководитель Е.А Мезенева, канд. техн. наук, доцент
Вологодский государственный университет
г. Вологда

Одной из самых важных глобальных проблем нескольких последних десятилетий является качество и доступность питьевой воды. По всему миру запасы пресной воды стремительно уменьшаются, а численность населения и потребление воды, в свою очередь, растут.

В России проблема нехватки воды не является настолько острой, как во многих других странах, но при этом проблемы с ее качеством все равно возникают. Так, по данным Роспотребнадзора, на территории Вологодской области общее число источников, пригодных для питьевого водоснабжения составляет 595, из которых 35 (5,4%) поверхностные источники, а 560 (94,6%) подземные.

В связи с тенденцией роста эксплуатации подземных вод, вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения актуальна проблема их очистки от определенных отдельных лимитирующих составляющих загрязнений, а именно бора, удаление которых не выполняет и не решает применяющаяся система водоподготовки и различные ее варианты, которые в основном рассматривают удаление других соединений, например: железа, марганца и др.

В природных водах бор существует прежде всего в виде недиссоциированной борной кислоты и некоторых боратов. Бораты- соли ортоборной кислоты (H_3BO_3) и полиборных кислот ($H_2B_4O_7$, $H_3B_5O_9$ и др.), которые входят в состав таких распространенных минералов галогенно- и вулканогенно-осадочных горных пород, как гидроборатид, доломит, ашарит, углексит, данбурит и др. Известно 85 природных боратов [1].

Бор выполняет важную функцию в жизнедеятельности: он входит в число пяти важнейших микроэлементов. Например, постоянное употребление питьевой воды с превышающим содержанием бора вызывает у человека повышенное содержание сахара в крови, угнетение работы периферической нервной системы, снижение концентрации желудочного сока, нарушение обмена веществ и др.

Бор является биологически активной добавкой и в соответствии с принятой классификацией его относят к токсичным веществам.

Соединения бора относятся ко второму классу токсикологической опасности, их содержание в питьевой воде подлежит контролю. В США нет обязательного верхнего предела для бора в питьевой воде, но американское Агентство по охране окружающей среды рекомендует в качестве нормативной величины значение 1 мг/л. Всемирная организация здравоохранения приняла предел содержания бора в питьевой воде равным 0,5 мг/л, а страны Европейского сообщества – 1 мг/л. В Японии допустимый уровень содержания бора даже ниже и равен 0,2 мг/л [2].

В России требования пригодности подземных вод для питьевого назначения принимаются согласно СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества». Согласно СанПиН, содержание бора в питьевой воде не должно превышать 0,5 мг/л [3].

Цель данной работы заключается в сборе информации об источнике водоснабжения п. Можайское Вологодского района, в анализе и обработке санитарно-технических характеристик рабочих водозаборных скважин.

Проведем анализ источника водоснабжения п. Можайское Вологодского района. В поселке функционирует централизованная система водоснабжения. Источником водоснабжения являются подземные воды, забираемые насосами артезианских скважин. Здания общественно-коммунального назначения и большая часть населения обеспечиваются питьевой водой от ВНС, подпитываемой 9 артезианскими скважинами. Скважины закольцованы, подают воду к водонапорной башне емкостью бака 25 м³, далее в сеть водопровода на инкубаторы СХПК «Племптица Можайское» и для водоснабжения пос. Можайское. ВНС мощностью 50 м³/час с двумя накопительными РЧВ по 150 м³ каждый расположена в 400 м на юг от поселка. Всего на территории поп. Можайское было пробурено 15 скважин. Скважины № 654, 1178, 1621, 1662, 2603 в настоящее время не эксплуатируются, затампонированы.

Санитарно-технические характеристики рабочих водозаборных скважин представлены в таблице.

Таблица

Санитарно-технические характеристики водозаборных скважин

№ п/п	№ скважин по паспорту	Глубина, м	Год бурения, Состояние	Качество воды, показатели несоответствия
1.	2245	165,0	1977 рабочая	Fe – 0,81 мг/л; бор – 1,82 мг/л; мутность – 1,66 мг/л; запах – до 3 баллов.

Окончание таблицы

№ п/п	№ скважин по паспорту	Глубина, м	Год бурения, Состояние	Качество воды, показатели несоответствия
2.	74347	170,0	1990 рабочая	Fe – 0,79 мг/л; бор – 1,72мг/л; мутность-15,7мг/л; запах –до 3 баллов, цветность – до 20 баллов, барий – до 0,24мг/л, свинец –до 0,11892 мг/л.
3.	2581	195,0	1980 рабочая	Fe – 0,48 мг/л; бор- 2,24мг/л.
4.	74348	180,0	1990 рабочая	Fe – 1,27 мг/л; бор- 1,91мг/л.
5.	2888	172,0	1983 рабочая	Fe – 2,84 мг/л; бор- 1,83мг/л, мутность-7,49мг/л.
6.	2198	175,0	1977 рабочая	Fe – 2,72 мг/л; бор- 1,63мг/л; мутность-5,55мг/л; запах –до 3 баллов, барий – до 0,606мг/л.
7.	14/94	173,5	1994 рабочая	Fe – 1,68 мг/л; бор- 1,16мг/л, мутность-4,24мг/л.
8.	15/94	176,0	1994 рабочая	Fe – 0,54 мг/л; бор- 1,7мг/л; мутность-1,65мг/л; барий – до1,28мг/л.
9.	3/99	195,0	2000 рабочая	Fe – 7,14 мг/л; бор- 1,45мг/л; мутность-10,4мг/л; запах –до 4 баллов, барий – до 0,25мг/л.

Качество подземных вод из скважин № 2245, 74347, 2581, 74348, 2888, 2198, 14/94, 15/94, 3/99 не соответствуют требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01 “Вода питьевая ” по: железу (до 9ПДК), бору (до 4,5 ПДК), запаху, мутности, бария (до 6 ПДК).

Во многих случаях подземные воды не требуют обработку перед подачей их потребителю, именно поэтому актуальность очистки подземных вод от отдельных составляющих, например от бора, вызывает ряд вопросов о выборе метода очистки. Каждый состав воды индивидуален и требует проведения определенных исследований.

Существует не так много способов удаления бора из воды: соосаждение и осаждение борат- анионов в виде труднорастворимых соединений, сорбция

неорганическими сорбентами, ионный обмен, мембранная технология: электродиализ и обратный осмос [4].

Методы соосаждения и осаждения при помощи химических реагентов рассчитаны на очистку водных растворов со значительными концентрациями бора (≥ 1 г/л) [4].

Получение более эффективного оксигидратного циркониевого сорбента вследствие амфотерности циркония требует создания оптимальных условий для протекания основной структурообразующей стадии синтеза сорбента, а именно его избирательности к соединениям бора, что весьма трудоемко. Полученный сорбент механически не прочен, достаточно дорог [4].

Мембранными методами- электродиализом и обратным осмосом задерживается до 40-60% бора, но одновременно происходит изменение общего ионного состава воды (опреснение) [4].

Для извлечения бора применяют метод сорбции на органических слабо-основных анионитах с последующей десорбцией соляной кислотой. На последней стадии воду упаривают для извлечения поваренной соли. Однако указанный способ работоспособен при наличии бора в водах в концентрациях более 50 мг/л. При меньшем его содержании бор будет частично потерян при извлечении других компонентов [4].

На качество подземных вод влияет сразу несколько факторов окружающей среды, поэтому метод их очистки должен быть комплексным.

Таким образом, для разработки комплексного метода очистки воды от бора необходимо после анализа существующих методов провести экспериментальные исследования и разработать схему очистки природных вод от соединений бора, определить оптимальные параметры процесса очистки воды из артезианских скважин в п. Можайское в лаборатории.

1. А. Ф. Горбов. Геохимия бора. – М., 1976
2. http://www.who.int/water_sanitation_health/en
3. СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества».
4. Л. С. Алексеев. Контроль качества воды. – М., Изд-во Инфра-М, 2010.

АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ НОРМИРОВАНИЯ СТОЧНЫХ ВОД

Т.А. Воробьева

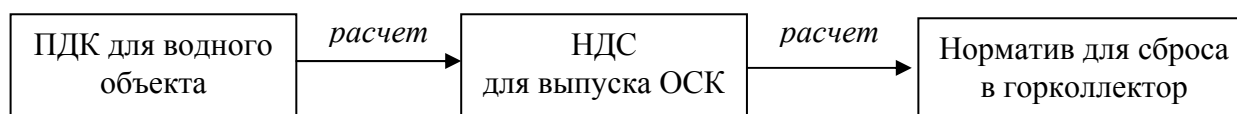
Научный руководитель А.А. Кулаков, канд. техн. наук

Вологодский государственный университет

г. Вологда

В настоящее время система водного законодательства в Российской Федерации регулируется Водным кодексом и Федеральным законом «Об охране окружающей среды». Нормирование сброса сточных вод основано на установлении требований к содержанию загрязняющих веществ в водном объекте – предельно допустимая концентрация (ПДК), на базе которой затем рассчитывается концентрация допустимых загрязнений в отводимых сточных водах.

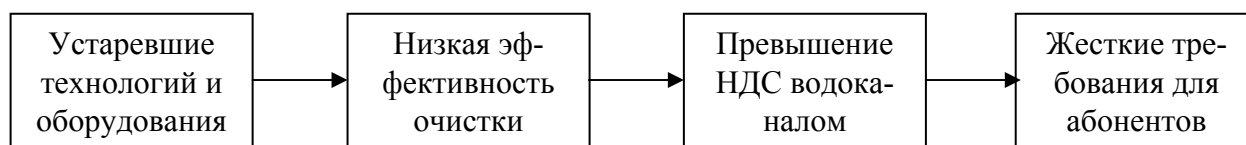
Для всех выпусков предприятий коммунального или промышленного сектора с учетом ПДК, которая зависит от назначения водного объекта, рассчитывается величина норматива допустимого сброса (НДС) – максимально возможная масса загрязняющих веществ, которая может быть отведена в водный объект при обеспечении норматива качества окружающей среды.



Нормирование качества воды осуществляется в соответствии с физическими, химическими, биологическими (в том числе микробиологическими и паразитологическими) и иными показателями состава и свойств воды водных объектов.

Предприятия водопроводно-канализационного хозяйства (ВКХ), в свою очередь, перекладывают требования на абонентов, отводящих сточные воды в водоотводящую сеть.

Существующее водное законодательство мотивирует предприятия ВКХ внедрять современные технологии и увеличивать эффективность очистки сточных вод на городских сооружениях. При использовании устаревших технологий и оборудования достижение НДС предприятием, осуществляющим сброс сточных вод в водный объект, не представляется возможным. В результате устанавливаются более жесткие требования абонентам на сброс сточных вод в системы водоотведения города:



В таблице 1 представлена информация по требованиям к питьевой воде согласно СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода», нормативы качества воды водного объекта и данные по предъявляемым требованиям к сбросу сточных вод в системы водоотведения некоторых населенных пунктов Вологодской области.

Таблица 1

Нормативы качества воды

Показатель	Водный объект ¹	Горколлектор					СанПиН Питье- вая вода
		Допу- щены к сбросу в сеть ²	Город №1	Город №2	Город №3		
					ОСК-1	ОСК-2	
1	2	3	4	5	6	7	8
pH	-	6,0-9,0	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5 – 8,5	6,5 – 8,5	6-9
Температура, °C	-	+40	-	-	+40	+40	-
ВВ	C _ф +0,25	300	240	258	200	250	-
БПК ₅	2	300	-	-	-	-	-
БПК _{полн}	3	-	200	220	200	300	-
ХПК	-	500	-	414	300	450	-
N-NH ₄ ⁺ +N _{орг}	-	50	-	-	-	-	-
Аммоний-ион	0,5	-	37,4	14,2	22,47	13,74	2 ³
Нитраты	40	-	40	160	40	40	45
Нитриты	0,08	-	0,08	0,16	0,08	0,08	3
Общий фосфор	-	12	-	-	-	-	-
Фосфаты (по фосфору)	0,2	-	8,8	2,2	0,58	0,315	-
Железо общее	0,1	3	0,43	0,24	0,68	0,335	0,3
Сульфаты	100	300	100	100	100	213,91	500
Хлориды	300	1000	300	300	300	300	350
Нефтепродукты	0,05	10	1,06	0,1	0,57	0,38	0,1
АПАВ	-	10	2,5	-	-	-	0,5
СПАВ	0,5	-	-	0,93	12,82	1,777	-
Фенолы	0,001	0,25	0,01	0,005	-	0,0087	0,25 ⁴
Формальдегид	0,01	-	0,26	0,18	0,1	-	0,05(при озон.)
Цинк	0,01	1	0,03	-	0,061	0,033	5
Медь	0,001	0,5	0,008	-	0,0055	0,0039	1
Алюминий	0,04	3	0,125	-	-	-	0,5
Молибден	0,001	-	0,004	-	-	-	0,25
Марганец	0,01	1	0,129	-	-	-	0,1
Метанол	0,1	-	-	0,54	-	-	-
хром ⁶⁺	0,03	0,05	0,02	-	-	-	0,5
Никель	-	0,05	0,01	-	-	-	0,1
Роданиды	-	-	-	-	-	0,239	-
Цианиды	-	-	-	-	-	0,239	0,035

Примечание: 1 – для централизованных общесплавных и бытовых систем водоотведения согласно приложению 3 Правил ХВВ; 2 – категории водных объектов – рыбохозяйственное водопользование высшей и первой категории; 3 – аммиак по азоту; 4 – фенольный индекс; числовые значения в мг/л, температура – °С.

При сбросе сточных вод в горколлектор абоненты обязаны соблюдать требования к составу и свойствам сточных вод в целях предотвращения негативного воздействия сточных вод на работу централизованной системы водоотведения согласно Правилам холодного водоснабжения и водоотведения (утверждены Постановлением Правительства РФ от 29.07.2013 N 644)

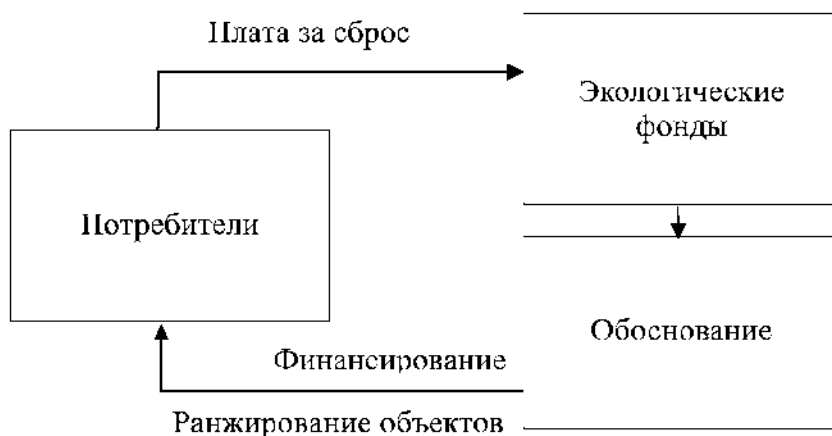
При расчете стоимости сброса в водоотводящую сеть применяются повышающие коэффициенты, которые устанавливаются органами исполнительной власти субъектов РФ с учетом кратности превышения нормативной концентрации веществ и количества веществ с превышением.

Плата абонентов (обе категории) за сброс загрязняющих веществ в централизованные системы водоотведения разделяет на две составляющие:

- за негативное воздействие на сети и сооружения самой системы канализации (в соответствии с Правилами, утвержденными Постановлением Правительства РФ от 29.07.2013 №644);

- за негативное воздействие на водные объекты через систему водоотведения (в соответствии с Правилами, утвержденных Постановлением Правительства РФ от 12.02.1999 №167).

За счет средств, поступающих в виде платы за нормативные и сверхнормативные (лимитные и сверхлимитные) сбросы загрязняющих веществ в окружающую среду, штрафов за экологические правонарушения формируются экологические фонды и в дальнейшем финансирование распределяется при обосновании на основе ранжированной оценки объектов:



Средства поступают от загрязнителей и им же возвращаются на конкретные природоохранные мероприятия, реконструкцию очистных сооружений или идут на улучшение **экологической обстановки** в целом.

Если же предъявляемые требования не соблюдаются, то предприятие обязано иметь локальные очистные сооружения и осуществлять сброс в централизованную систему водоотведения сточных вод, прошедших предварительную очистку.

При внедрении наилучших доступных технологий очистки и соблюдения всех нормативов предприятия могут быть освобождены от платы за сброс. Также разработан справочник наилучших доступных технологий для очистки сточных вод, который направлен на сокращение негативного воздействия на окружающую среду.

Выводы:

1. Существующая система нормирования сточных вод имеет ряд недостатков в части предъявления требований к выпускам очищенных сточных вод – не учитываются барьерные возможности технологий, природное состояние водного объекта.

2. Большинство очистных сооружений коммунального сектора находятся в крайне изношенном состоянии и требуют реконструкции. Создание региональных экологических фондов, собирающих и впоследствии распределяющих финансовые ресурсы на реконструкцию сооружений, позволило бы сократить негативное воздействие на водные экосистемы.

3. При нормировании выпусков сточных вод необходимо учитывать состав питьевых вод, подаваемых потребителям, так как требования к питьевой воде по СанПиН по ряду показателей (хлориды, сульфаты, железо и т.д.) менее жестки, чем к сточной воде, что может привести к подаче воды потребителям с превышающими значениями к сбросу.

4. Внедрение технологий в регионе должно выстраиваться на основе ранжированной оценки выпусков на предмет негативного техногенного (антропогенного) воздействия.

5. При достижении нормативов необходимо руководствоваться принципом поэтапности: на первом этапе должны максимально использоваться имеющиеся на объекте резервы повышения эффективности, на втором – заменяться технологические узлы, не поддающиеся реконструкции.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСА ФИЛЬТРУЮЩЕЙ ЗАГРУЗКИ ПРИ РАЗДЕЛЬНОЙ ВОДОВОЗДУШНОЙ ПРОМЫВКИ

Е.И. Гавриленко, М.В. Ананьева

*Научный руководитель М.А.Гриднева к.т.н., доцент
Самарский государственный технический университет
г. Самара*

Практика показала, что использование раздельной водовоздушной промывки наиболее эффективна для промывки фильтров [1]. Но с применением такой промывки встает вопрос, как будут изменяться свойства загрузочного материала в процессе водовоздушной промывки.

Изучение зависимости изменяющихся величин загрузочного материала при воздействии основных факторов и сравнение полученных эксперимен-

тальных и расчетных данных является основной целью исследовательской работы. В ходе которой проводились необходимые исследования по изменению свойств материала в процессе водовоздушной промывки.

Кафедрой были проведены исследования по изменению свойств загрузочного материала. Было установлено, что на изменение свойств влияет множество различных факторов. Чтобы установить влияние каждого фактора потребуется очень много времени. Поэтому для проведения исследований кафедрой ВВ был использован метод планирования эксперимента.

Первоначально были определены факторы оказывающие наибольшее влияние на изменение свойств загрузочного материала. К ним относятся: крупность загрузки, время эксплуатации, интенсивность подачи воздуха и воды и объемный вес загрузки (в гранулах). Затем принимается максимальный и минимальный уровень варьирования факторов, т.е. устанавливаем максимальные и минимальные значения изменения факторов[2].

Таблица 1

Минимальные и максимальные показатели факторов

Факторы	Минимальный уровень	Основной уровень	Максимальный уровень	Интервал варьирования
d	0,63	1,315	2	0,685
T	0,5	1,25	2	0,75
U _в	10	15	20	5
U _{вз}	10	15	20	5
γ	0,25	0,4	0,55	0,15

Затем составляем матрицу планирования, для 5-го факторного эксперимента. Но т.к. проведение полных 5 факторных экспериментов занимает тоже много времени, был использован метод дробных реплик.

Результатом действия фактора мы имеем, так называемую, функцию отклика. В нашем случае такими функциями отклика, или величинами, изменяющимися при воздействии на них в процессе водовоздушной промывки данных факторов, являются: гидравлическая крупность, объемный вес фильтрующего материала, процент износа, эквивалентный диаметр, коэффициент расширения и гидравлический уклон.

Изменение этих величин были определены в процессе исследований

Таблица 2

Дробный 5-факторный эксперимент ¼ реплики

Номер опыта	Факторы					Функции отклика
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	
1	1,5 ÷ 2,0	2,0	10	10	0,550	y ₁
2	1,2 ÷ 0,8	0,5	10	20	0,550	y ₂
3	1,5 ÷ 2,0	0,5	10	20	0,250	y ₃
4	1,2 ÷ 0,8	2,0	10	10	0,250	y ₄
5	1,5 ÷ 2,0	2,0	20	20	0,250	y ₅

Окончание таблицы 2

Номер опыта	Факторы					Функции отклика
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	
6	$1,2 \div 0,8$	0,5	20	10	0,250	y_6
7	$1,5 \div 2,0$	0,5	20	10	0,550	y_7
8	$1,2 \div 0,8$	2,0	20	20	0,550	y_8
9	$1,2 \div 1,5$	1,25	15	15	0,400	y_9
10	$1,2 \div 1,5$	1,25	15	15	0,400	y_{10}

где x_1 – крупность загрузочного материала;

x_2 – время эксплуатации;

x_3 – интенсивность подачи воды;

x_4 – интенсивность подачи воздуха;

x_5 – объемный вес в гранулах.

После снятия характеристик приступают к промывке загрузки водой, а затем воздухом. Промывку производим 0,5 года; 1,25 года и 2 года. Это соответствует времени.

Таблица 3

Значения времени эксплуатации в часах

Время, годы	Воды	Воздух
0,5	24 часа	6 часов
1,25	60 часов	15 часов
2,0	96 часов	24 часа

В результате проведенных опытов по исследованию свойств загрузочного материала в процессе раздельной водовоздушной промывки были получены данные об изменении в процессе промывки следующих величин: гидравлическая крупность (U), объемного веса фильтрующего материала (γ), эквивалентного диаметра (d), коэффициент расширения при интенсивности подачи воды $10 \text{ л/с}\cdot\text{м}^2$ (K_p) и гидравлического уклона при скорости фильтрации $V_\phi=36 \text{ м/с}$ (i_0) и процента износа ($\Pi \%$).

Общие выводы:

В результате проведенных опытов по исследованию свойств загрузочного материала в процессе водовоздушной промывки были получены экспериментальные данные об изменении этих величин в процессе промывки. Для сравнительного анализа были также произведены расчеты и получены расчетные данные по изменению этих величин. Установлена и описана зависимость износа загрузочного материала различных объемных весов от времени эксплуатации.

Определена гидравлическая крупность загрузочного материала различных фракций.

Определены значения эквивалентного диаметра различных фильтрующих материалов.

Определена зависимость изменения коэффициента расширения загрузки от интенсивности подачи воды.

Определены значения изменений гидравлического уклона в процессе водной и водовоздушной промывки.

Определена зависимость изменения процента износа от времени эксплуатации. Зависимость износа загрузочного материала показала, что с увеличением продолжительности её эксплуатации темп износа уменьшается. Механическая прочность удовлетворяет техническим требованиям, предъявляемым к фильтрующим материалам, и с увеличением объемного веса повышается.

Произведены расчеты и получены расчетные данные по изменению свойств загрузочного материала в процессе водной и водовоздушной промывки.

1. Дзюбо В.В., Алферова Л.И.: Теоретические и технологические исследования кратковременно-импульсной промывки фильтров обезжелезивания подземных вод/ В.В. Дзюбо, Л.И. Алферова // Энергоснабжение и водоподготовка: сб. науч. ст./ Томский государственный архитектурно-строительный университет. – Москва, 2005. № 3. – С. 17-22.

2. Стрелков А.К., Гриднева М.А., Дремина Э.В., Набок Т.Ю. Исследование свойств фильтрующих материалов в процессе водной и раздельной водовоздушной промывки/ А.К. Стрелков, М.А. Гриднева, Э.В. Дремина, Т.Ю. Набок // Научное обозрение: сб. науч. ст./ Самарский государственный архитектурно-строительный университет. – Москва, 2015. № 15. – С. 126-135.

КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ПОВЕРХНОСТНОМ СТОКЕ С ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МОСТОВ

Д.А. Жданов

Научный руководитель С.Ю. Теплых, канд. техн. наук, доцент
Самарский государственный технический университет
г. Самара

Железнодорожные сооружения являются стационарными техническими объектами, которые оказывают постоянное воздействие на окружающую среду, в частности, прилегающую территорию. Загрязненный поверхностный сток, образующийся главным образом в результате выпадения атмосферных осадков, стекает с железнодорожных путей по рельефу местности, а также проникает в толщу грунтов, пропитывая их на большую глубину, и через грунтовые воды попадает в ближайшие поверхностные водные объекты.

В настоящее время проблема загрязнения является более чем актуальной. Очень большое влияние на загрязнение окружающей среды оказывает

железнодорожный транспорт. В связи с этим происходит загрязнение грунтов, водных объектов находящихся в непосредственной близости с железнодорожными путями [1-3]. Негативное влияние оказывают железнодорожные мосты, расположенные над водными объектами [4-7]. Для данных сооружений не предусмотрен отвод сточных вод в локальную канализационную сеть и в связи с этим поверхностные сточные воды (дождевые, талые) стекают с мостов и наносят непосредственный ущерб водному объекту и близлежащих территорий. Можно рассмотреть два основных случая негативного влияния:

1. Сточные воды, которые стекают и просачиваются в грунт (не достигая водного объекта), не распространяются, а остаются непосредственно на мостовых призмах и конусах.

2. Поверхностный сток, содержащий нефтепродукты, железо и другие различные загрязняющие вещества достигает водоема и смешивается с водой водного объекта, за счет течения жидкости происходит распространение загрязнений в прибрежной полосе водоема.

Соответственно следует определить качество поверхностных сточных вод, стекающих с железнодорожных мостов и мостовых переходов. В работе рассматривались железнодорожные мосты и территория, примыкающая к ним. Большинство пересечений железнодорожных мостов над автомобильной дорогой или водным объектом находятся за пределами селитебных зон населенных пунктов, что обуславливает отсутствие канализационной сети. Для отвода и очистки поверхностного стока с железнодорожных мостов и мостовых переходов следует рассмотреть и предложить исходные данные для расчета локальных очистных сооружений.

В настоящей работе проведены исследования на железнодорожном перегоне Самара – Кинель и выбрано три моста. Первый железнодорожный мост проходит над рекой Орловка, второй – река Падовка, третий – над грунтовой дорогой находящаяся в поселке Советы.

Были отобраны по 4 пробы талых вод, с каждого объекта по каждому конусу опоры и стороне мостов, согласно ГОСТ 12071-2014 «Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов». Исследования проводились по трем ингредиентам: взвешенные вещества, железо общее, нефтепродукты. Исследования по ингредиентам выполнены согласно методикам: ПНД Ф 14.1:2.110-97; ПНД Ф 14.1:2.4.50-96; ПНД Ф 14.1:2.4.168-2000 (таблица 1). Отбор проб производился около мостовых опор с железнодорожных мостов, проходящих над водным объектом и автомобильной дорогой.

Таблица 1

**Качественные показатели загрязняющих веществ
в поверхностном стоке с железнодорожных мостов**

Объект	№ пробы	Количественные показатели			
		Железо общее, мг/дм ³	Взвешенные вещества, мг/дм ³	Нефтепро- дукты, мг/дм ³	БПК, мг О ₂ /дм ³
п. Советы	1	8,7	239,0	0,22	2,33
	2	9,37	367,5	0,21	2,31
	3	9,15	282,5	0,24	2,34
	4	8,26	210,0	0,36	2,36
р. Орловка	1	4,22	179,0	0,098	2,68
	2	2,04	54,0	0,12	2,45
	3	2,22	74,5	0,18	2,75
	4	4,44	99,0	0,16	2,78
р. Падовка	1	8,26	146,5	0,28	3,40
	2	6,62	188,5	0,21	3,20
	3	6,79	121,5	0,25	3,10
	4	8,61	157,5	0,18	3,30

Исходя из представленных данных, следует, что концентрация железа общего варьируется от 2,04 – 9,37 мг/дм³; взвешенных веществ – от 54,0 – 367,0 мг/дм³; нефтепродуктов – 0,098 – 0,36 мг/дм³, что значительно превышает ПДК (предельно-допустимые концентрации), установленные для сброса сточных вод в водные объекты, которые допускают увеличение фонового содержания ингредиентов для первой и второй категорий рыбохозяйственного значения.

1. Стрелков, А.К. Методика определения категории загрязненности железнодорожных путей [Текст] / А.К. Стрелков, С.Ю. Теплых, П.А. Горшкалев// Актуальные проблемы в строительстве и архитектуре. Образование. Наука, Практика: материалы 66-й Всероссийский научно-технический конференции по итогам НИР университета за 2008 г. / Самарский государственный архитектурно-строительный университет. – Самара, 2009 – С. 109-111.

2. Стрелков А.К., Теплых С.Ю., Горшкалев П.А., Саргсян А.М. Экологические аспекты воздействия поверхностных сточных вод с железнодорожных станций [Текст] // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура – С., 2013. – №4. – С. 83-88.

3. Теплых, С.Ю. Влияние поверхностного стока с путей на водные объекты [Текст] / С.Ю. Теплых, А.М. Саргсян // Путь и путевое хозяйство: научно-популярный производственно-технический журнал. – М., 2012. – №5. – С. 27-29.

4. Стрелков, А.К. Влияние хозяйственной деятельности на качественный состав поверхностных водотоков [Текст] / А.К. Стрелков, С.Ю. Теплых, П.А. Горшкалев // Водоснабжение и санитарная техника: ежемесячный науч-

но-технический и производственный журнал. – № 8. – 2014. – М., 2014. – С. 21-26.

5. Стрелков, А.К. Определение концентраций загрязнений в поверхностном стоке с железнодорожных путей косвенным методом [Текст] / А.К. Стрелков, С.Ю. Теплых, П.А. Горшкалев, С.Ф. Коренькова, А.М. Саргсян // Водоснабжение и санитарная техника: ежемесячный научно-технический и производственный журнал. – № 8 – 2013. – М, 2013. – С. 67-70.

6. Стрелков, А.К. Современное состояние вопроса сбора и очистки поверхностного стока с железной дороги [Текст] / А.К. Стрелков, С.Ю. Теплых, П.А. Горшкалев, А.М. Саргсян // Научное обозрение. – М., 2014. – № 4. – С. 123-129.

7. Стрелков, А.К. Экологические аспекты воздействия поверхностных сточных вод с железнодорожных станций [Текст] / А.К. Стрелков, С.Ю. Теплых, П.А. Горшкалев, А.М. Саргсян // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура: научно-технический журнал / СГАСУ. – Самара, 2013. Вып. № 4 (13). – С. 83-88.

ТЕХНОЛОГИИ РАДИАЛЬНОГО ФИЛЬТРОВАНИЯ ВОД

Р.С. Занин

Научный руководитель Е.А. Мезенева, канд. техн. наук, доцент
Вологодский государственный университет
г. Вологда

В водоподготовке, как на производственные, так и на хозяйственно-питьевые нужды, самым распространенным способом стало фильтрование. Освобождение воды от грубодисперсных примесей, посредством прохождения потока воды через фильтрующий материал, где основным его видом является зернистый материал. В качестве такого материала часто используются кварцевый песок, дробленые антрацит и керамзит. Важнейшее значение для эффективной работы механических фильтров имеет состояние фильтрующего материала. Все фильтрующие материалы должны иметь как механическую прочность зерен, так и химическую стойкость, обеспечив требуемый технологический процесс. Использование метода фильтрования позволяет обеспечить качество воды в соответствии с [1], помимо этого сооружения фильтрования обеспечиваю максимальную степень очистки воды в сравнении с другими сооружения при невысоких экономических затратах.

Эффективность механических фильтров является важным показателем его работы, на которые влияют следующие факторы:

- гранулометрическая характеристика и вид фильтрующего материала;
- объем слоя фильтрующего материала;

- скорость фильтрования;
- продолжительность фильтроцикла;
- степень засорения фильтрующего материала.

При конструировании и проектировании фильтровальных сооружений существует такая задача, как уменьшение габаритов без ущерба для достигаемого эффекта очистки воды и производительности. Тем самым, уменьшение объема загрузки позволит снизить потери напора на фильтрах, уменьшив стоимость данных сооружений.

Как правило, в технологическом процессе водоподготовки используют механические фильтры с вертикальным движением воды, либо сверху вниз, либо наоборот. Такие фильтры промываются обратным током воды.

Одним из современных методов фильтрования воды является использование радиального фильтрования.

Главной целью ставится изучение технологии радиального фильтрования и эффективности применения этого метода в технологических схемах обработки воды.

Радиальные фильтры как технологические сооружения для очистки вод имеют две важные особенности, которые позволяют осуществлять:

- фильтрование потока воды в направлении либо от центра к периферии фильтра, либо наоборот;
- фильтрование с переменной скоростью по радиусу фильтра: а) от максимальной $v_{\phi}^{\max}$ в начальных слоях фильтрующего материала до минимальной $v_{\phi}^{\min}$ в конечных слоях (при фильтровании от центра к периферии); б) от минимальной в начальных слоях до максимальной в конечных (при фильтровании от периферии фильтра к его центру).

В соответствии с характером изменения скорости фильтрования по радиусу радиального фильтра изменяется продолжительность контакта воды с фильтрующей загрузкой, что показывает технологическую особенность – увеличение времени контакта потока воды с загрузкой в радиальном направлении при падении скорости фильтрования и при постоянстве фильтруемого расхода воды [2].

Конструктивные решения по оформлению технологии радиального фильтрования позволяют обеспечить различные сочетания технологических параметров работ фильтров – направления, скорости фильтрования и пористости фильтрующего материала.

В радиальных фильтрах в качестве зернистой загрузки предпочтение отдается легким фильтрующим материалам, таким как пенополистирол и пенополиуретан. С такой загрузкой проведены исследования по конструкции технологии радиального фильтра в работе.

Известно устройство радиального фильтра, которое относится к области очистки природных и сточных вод фильтрованием от коллоидных, нераство-

ренных взвешенных органических и минеральных веществ и может использоваться для очистки различных производственных и бытовых сточных вод [3].

Технический результат, на достижение которого направлено данное устройство заключается в увеличении грязеемкости фильтрующего материала путем направленного формирования его межзерновой пористости в условиях фильтрования воды в режиме нестационарных скоростей и в регулировании степени поджатия фильтрующего материала по радиусу корпуса фильтра.

Оно представляется собой цилиндрический корпус. Внутри корпуса фильтра с возможностью вертикального перемещения относительно друг друга установлены цилиндроконические перфорированные обечайки. Обечайки образуют внутреннюю полость. Фильтрующая загрузка (пенополистирол) с плотностью меньше плотности воды замещена между перфорированной трубой, подающей воду и боковыми цилиндрическими поверхностями обечаек. Для образования замкнутых полостей между коническими частями обечаек и корпусом закреплены эластичные непроницаемые мембраны. За счет поджатия фильтрующего материала подвижными в вертикальном направлении обечайками происходит направленное формирование межзерновой пористости фильтрующего материала по радиусу фильтра в направлении фильтрования потока воды. Направленное формирование межзерновой пористости и возможность управления ею позволяют повысить эффективность очистки природных и сточных вод. Для регенерации (промывки) фильтрующего материала поджатие обечайками ослабляется, уменьшая давление в камерах, и дает материалу восстановить свою форму, перейдя в свободное состояние [3].

Недостатком данного устройства радиального фильтрования является использования только плавающей загрузки и невозможность использования загрузки с плотностью больше плотности воды, уменьшая выбор фильтрующего материала и поиск достаточного качественной загрузки для различных вод.

Известно устройство радиального фильтрования, работающего непосредственно в водоисточнике, состоящего из цилиндрического корпуса, заполненного плавающей фильтрующей загрузкой (полувспененный полистрирол), перфорированной трубы в центре, нижняя часть которой перекрыта сеткой и выведена за пределы фильтрующего материала, через которую поступает вода и проходит слой загрузки. Осветленная вода собирается периферийной дренажной системой в водоприемный карман, после чего отвод производится через трубопровод. Фильтрующая загрузка регенерируется эжекторными устройствами, на внутренней поверхности трубопроводов которых расположены битеры для интенсификации соударений гранул одних с другими и оттирания загрязнений с их поверхности [4]. Данная конструкция представлена на рисунке 1.

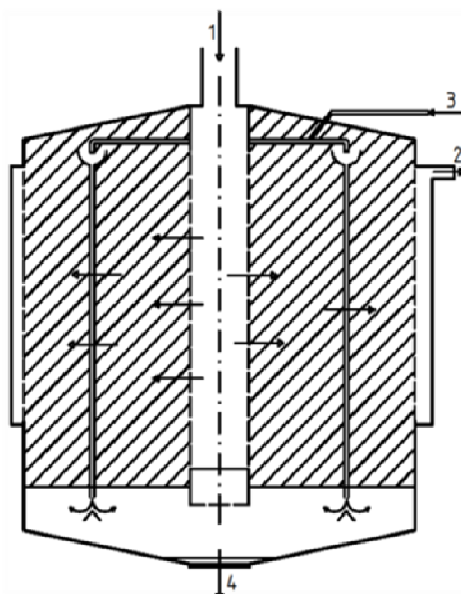


Рис. 1. Принцип работы радиального фильтра.
 1-подача исходной воды; 2-отвод осветленной воды;
 3-эжекторное устройство промывки загрузки; 4-сброс осадка

Однако данное сооружение радиального фильтрования не было достаточно изучено с практической стороны.

Задачей изучения радиального фильтрования в последующем подразумевает создание полезной модели фильтра и сравнение основных характеристик с другими фильтрующими сооружениями.

В отличие от обычных вертикальных фильтров, в которых скорость фильтрования неизменна по высоте слоя загрузки, радиальные фильтры характеризуются падением скорости фильтрования в направлении при постоянстве расхода фильтруемой воды. Расчет приведен в таблице.

Таблица

Габариты фильтра, м	Возможные скорости фильтрования, м/ч	
	Вертикальный фильтр	Радиальный фильтр $v_{\max} \dots v_{\min}$
D=1.0 H=2	4	5...0,5
D=3.0 H=2	6	33...2,25
D=3.4 H=2	8	57...3,4

В вертикальных фильтрах производительность зависит от его диаметра и скорости фильтрования, в то время как в радиальных фильтрах на пропускную способность влияет и высота слоя загрузки.

Анализ работы фильтровальных сооружений различных типов, а также проведенные технологические исследования работ обычных вертикальных и радиальных напорных фильтров при очистке вод в одинаковых условиях и при одинаковом достигаемом качестве очистки, радиальные фильтры без

ущерба для производительности позволяют уменьшить требуемый объем фильтрующего материала, за счет эффективного использования грязеемкости загрузки, работающие в режиме нестационарных скоростей фильтрования [2].

Проведя анализ технологических схем работы радиальных фильтров можно сказать, что их технологический процесс позволяет исключить либо свести к минимуму такие факторы, как не соответствующие на практике важные технологические параметры: скорость фильтрования, высота слоя фильтрующего материала и его гранулометрические характеристики. Данные факторы приводят к тому, что фильтровальные сооружения не обеспечивают требуемого качества получаемого фильтрата.

1. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. – М.: Федеральный центр госсанэпидем-надзора Минздрава России, 2002. – 103 с.

2. Дзюбо В.В., Алферова Л.И., «Конструктивное оформление технологий радиального фильтрования природных вод»//Водоснабжение и Канализация №11-12,2014, с. 26-37.

3. Патент РФ на полезную модель № 70149, МПК7 B01D 24/10. Напорный фильтр/Дзюбо В.В., Алферова Л.И., Бутовский М.Э. – Опубл. 2008; Бюл. изобр. – №2.

4. Водозаборно-очистные сооружения и устройства: Учеб. В62 пособие для студентов вузов / М.Г. Журба, Ю.И. Вдовин; Ж.М. Говорова И.А. Лушкин; Под ред. М.Г.Журбы. – М.: ООО «Издательство Астрель»: ООО «Издательство АСТ», 2003. – 569с.

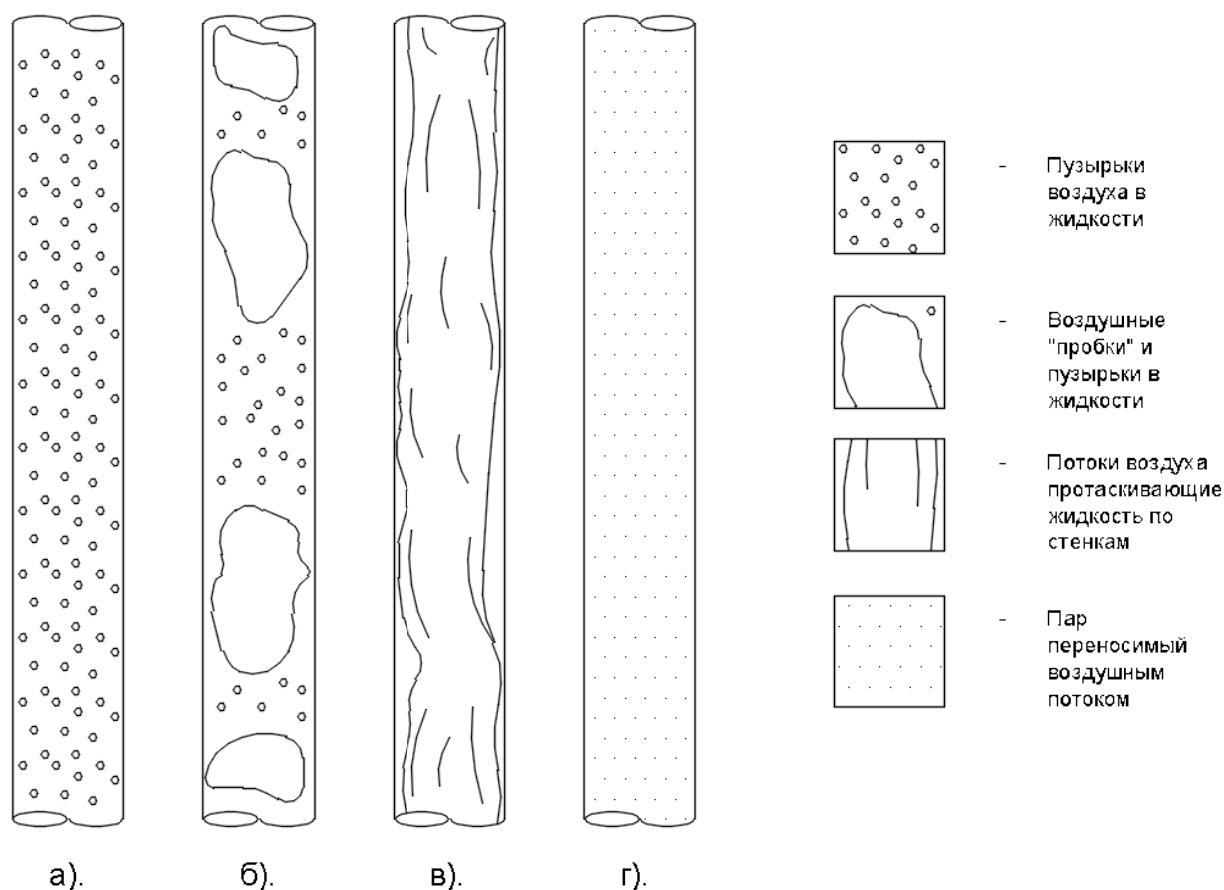
ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ЭРЛИФТОВ ДЛЯ ПЕРЕКАЧИВАНИЯ ЖИДКОСТИ

Р.Е. Ившуков

Научный руководитель А.А. Кулаков, канд. техн. наук, доцент
Вологодский государственный университет
г. Вологда

Использование эрлифтов на очистных сооружениях канализации, зачастую сводится к перекачиванию ила из вторичных отстойников в аэротенки. Это связано с уменьшением механизмов и агрегатов, использование эрлифтов гораздо дешевле и практичнее использования центробежных насосов. Т.к. не требует эксплуатации сложных насосов, постоянного контроля со стороны персонала. Эрлифт может быть установлен на сооружениях в качестве замены центробежного насоса и требует первичную наладку, которая начинается с выбора конструкции.

Эрлифт – струйный насос воздушного типа. В качестве движущей силы которого выступает воздух. Воздух, подаваемый в нижнюю часть опущенной в жидкость трубы, подаётся под давлением, поднимаясь по вертикальной трубе образует в ней пониженное давление-вследствие чего вода и приходит в движение. С учётом открытого конца на изливе давление выравнивается и происходит кратковременное прерывание подачи воды-вследствие выравнивания давления, имеет место для самых распространённых типов эрлифтов[1].



*Рис. 1. Виды течения:
 а). Пузырьковое течение
 б). Пробковое/чёточное/снарядное
 в). Кольцевое/стержневое
 г). Дисперсное/режим тумана*

Самым распространённым является 2 тип.

По расположению трубопроводов эрлифты подразделяются на три типа (рис. 2).

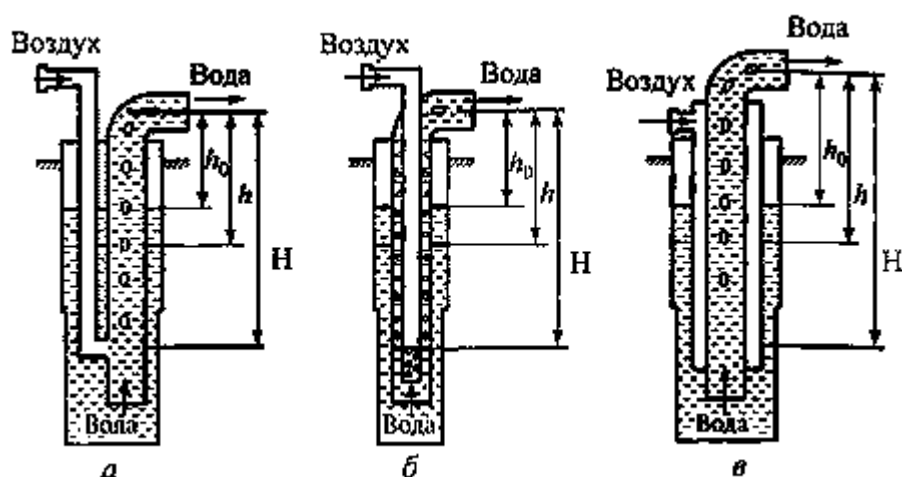


Рис. 2. Конструкция эрлифта: а – параллельная (эксцентрическая) система с расположением труб «рядом»; б – центральная (концентрическая) система – воздухопроводные трубы внутри водоподъемных; в – центральная система – водоподъемные трубы внутри воздухопроводных труб

Подбор и наладка эрлифта состоит из следующих ключевых элементов:

1. Определение необходимого расхода воды.
2. Допустимость насыщения воздухом иловой смеси.
3. Диаметра отводящей трубы.
4. Подбор высоты подъема жидкости.
5. Подбор расхода воздуха.
6. Проверка наклона горизонтальной трубы.
7. Подбора всасывающего оголовка.

Все эти параметры имеют огромное влияние на производительность самого эрлифта, то есть на расход воды на выходе, что скажется на КПД насоса.

Целью работы являлось определение характеристик эрлифта.

Экспериментальные исследования проводились на установке, показанной на рис.3. В качестве вертикальной трубы водо-воздушной смеси применяется трубопровод (материал ПВХ) с внутренним диаметром 28 мм. Заглубление воздушной трубы изменялось от 1,0 до 0,5 м. Водо-воздушная смесь поднималась на отметку 2 метра над трубой подачи воздуха.

Отслеживались параметры: отметки жидкости, патрубка подачи воздуха, всасывающего патрубка и уровень свободной поверхности жидкости, расход воздуха, расход воды.

Контролировались: геометрическая расположение трубопроводов (горизонтальность и вертикальность труб, а также высотная схема), постоянство уровня воды и расхода воздуха.

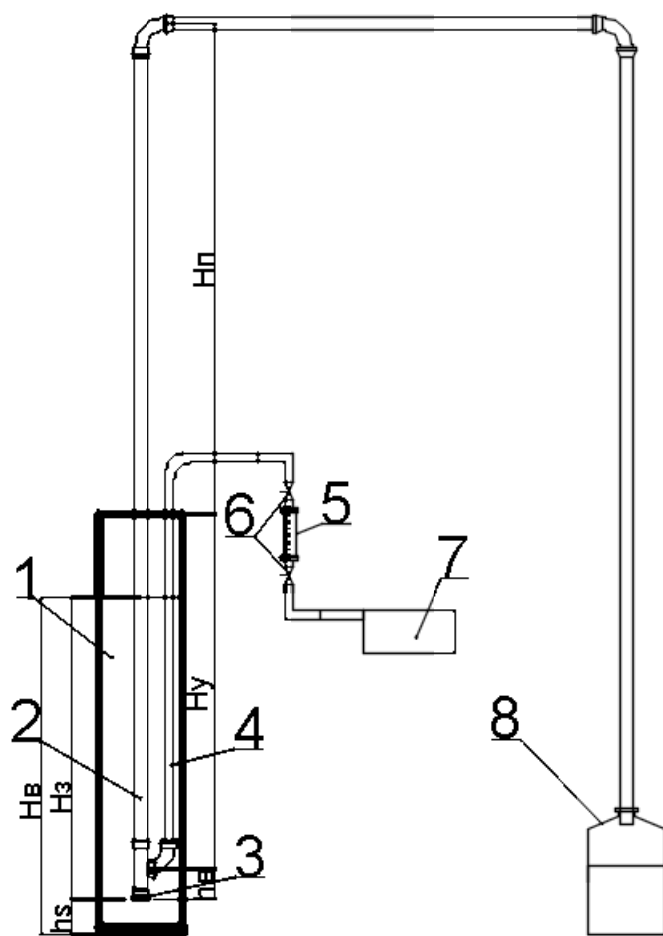


Рис. 3. Схема лабораторной установки где:
 H_v -уровень воды, H_z -заглубление всаса под уровень воды, h_s -уровень всаса над дном, h_v - разница между всасом и трубой подачи воздуха; $H_y + H_p$ -высота подъёма водо-воздушной смеси; 1-накопительная ёмкость; 2-вертикальная перекачивающая труба; 3-всасывающий оголовок; 4-воздушный патрубок; 5-ротаметр регулирующий расход воздуха; 6-вентили для регулирования расхода воздуха; 7-воздушный компрессор; 8-мерная ёмкость

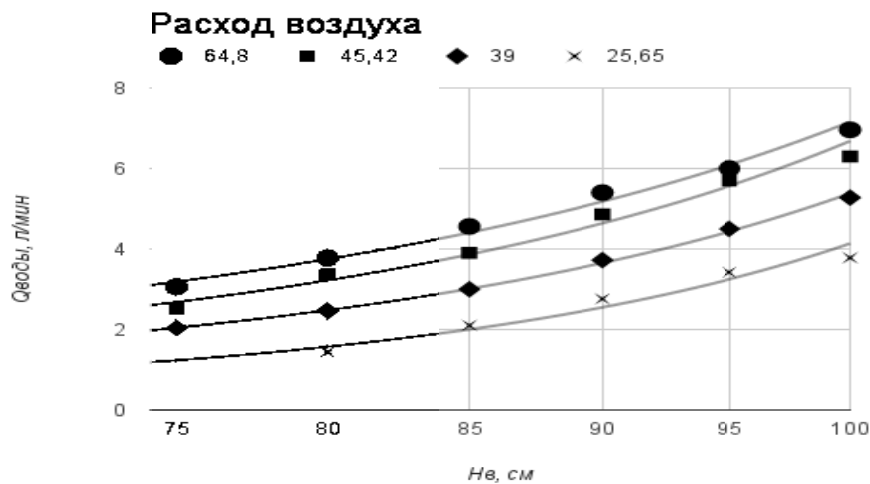


Рис. 3. $Q_{\text{воды}}, \text{ л/мин}$ относительно параметра $H, \text{ см}$

По полученным данным можно увидеть, что производительность растёт с увеличением уровня воды, над всасывающим патрубком, а также с увеличением расхода подаваемого воздуха. Однако стоит отметить, что с увеличением расхода воздуха свыше 45 л/м КПД растёт незначительно. Также незначителен прирост при увеличении уровня с отметки 95, до отметки 100 см.

Замена центробежных насосов также позволит избежать разбиения флоккул ила при перекачивании. Использование эрлифтов сопряжено с насыщением ила кислородом.

Использование эрлифта взамен центробежного насоса повышает экономию электроэнергии, расходных материалов и увеличивает эксплуатационный срок установки.

1. Папаяни Ф. А., Козыряцкий Л. Н., Пащенко В. С., Кононенко А. П. Энциклопедия эрлифтов. – М.: Информатик, 1995. – 589 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФИЛЬТРОВАНИЯ ЖИДКОСТИ

А.П. Киценко

Научный руководитель А.А. Кулаков, канд. техн. наук
Вологодский государственный университет
г. Вологда

Одним из методов доочистки сточных вод является фильтрование. Фильтрование через зернистые загрузки относится к наиболее надёжным высоко эффективным процессам глубокой очистки сточных вод от мелкодисперсных взвешенных загрязнений. Вместе с тем этот процесс имеет свои недостатки:

- необходимость периодической промывки фильтровальной загрузки, при которой требуется относительно большое количество воды;
- повышенные потери напора;
- возможная кольматация загрузки и связанная с этим необходимость её замены.

Целью исследования является изучение процессов фильтрования жидкости. Были исследованы потери напора со следующими зернистыми загрузками:

- Кварцевый песок (фракции 0.5-1.2 и 0.8-2.0 мм.)

Речные пески наиболее применимы, поскольку чисты от посторонних, особенно мелкодисперсных загрязнений. Однако большинство мест возможной их добычи содержат значительный процент мелкой фракции $d < 0,8$ мм, которые не следует применять для загрузки фильтров, поскольку требуется значительные затраты для получения требуемых фракций $d > 0,8$ мм. Этот материал обладает хорошей адгезией к загрязнениям сточных вод.

– Антрацит (фракции 0.5-1.2 и 0.8-2.0 мм.)

Антрациты являются эффективными загрузками одно-, двух- и более многослойных зернистых водоочистных напорных и безнапорных фильтров. При контакте частиц с фильтруемой водой в ней не происходит существенно-го прироста концентрации кремниевой кислоты, окисляемости, плотного остатка, что говорит о химической стойкости данного продукта. Благодаря повышенным показателям механической прочности (истираемости и измельчаемости), меньшим интенсивности и продолжительности промывки не происходит разрушения фильтрующего материала в процессе восстановления его свойств, а также не отмечается цементация отдельных зон фильтрующей загрузки.

Исследования проводились на фильтровальной колонне с диаметром трубы 110мм, по длине которой были установлены пьезометры, для отслеживания уровня воды в процессе фильтрования. Высота загрузочного слоя составляла 1 метр. Вода подавалась в промежуточную емкость для регулирования напора подачи жидкости в фильтровальную колонну, проходила через загрузку. Фильтрование сопровождалось с потерями напора, повышением расхода и скорости фильтрования. Исследование фильтрования могло проходить как снизу вверх (рисунок 1а), так и сверху вниз (рисунок 1б).

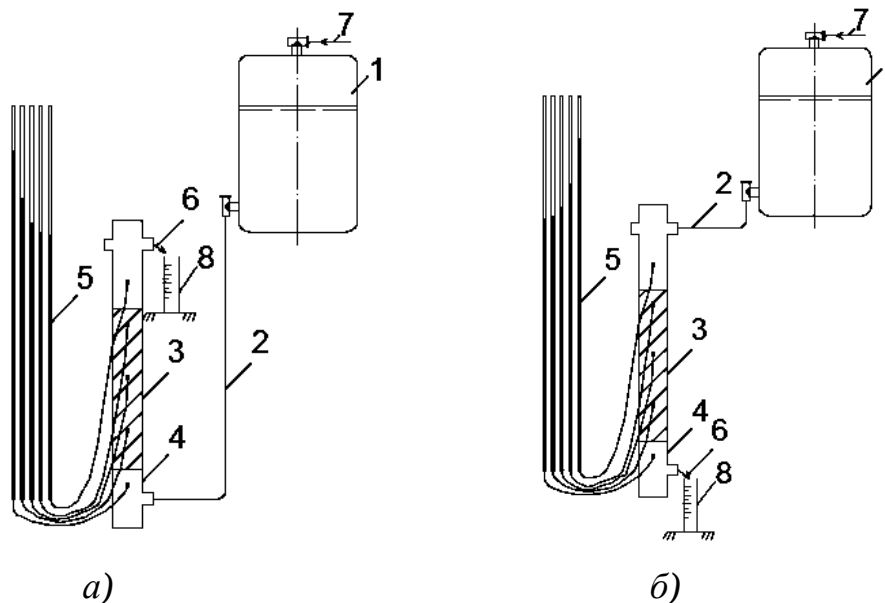


Рис. 1 Схема установки:

а – при фильтрации снизу вверх,

б – при фильтрации сверху вниз:

1-промежуточный резервуар; 2-подача воды на фильтрование;

3-фильтрующая загрузка;

4-фильтровальная колонна; 5- пьезометры;

6-отвод фильтрата; 7-подача неотфильтрованной воды;

8-мерная емкость.

В ходе исследования выявлена зависимость потерь напора от расхода жидкости (рис. 2) и скорости фильтрования (рис. 3).

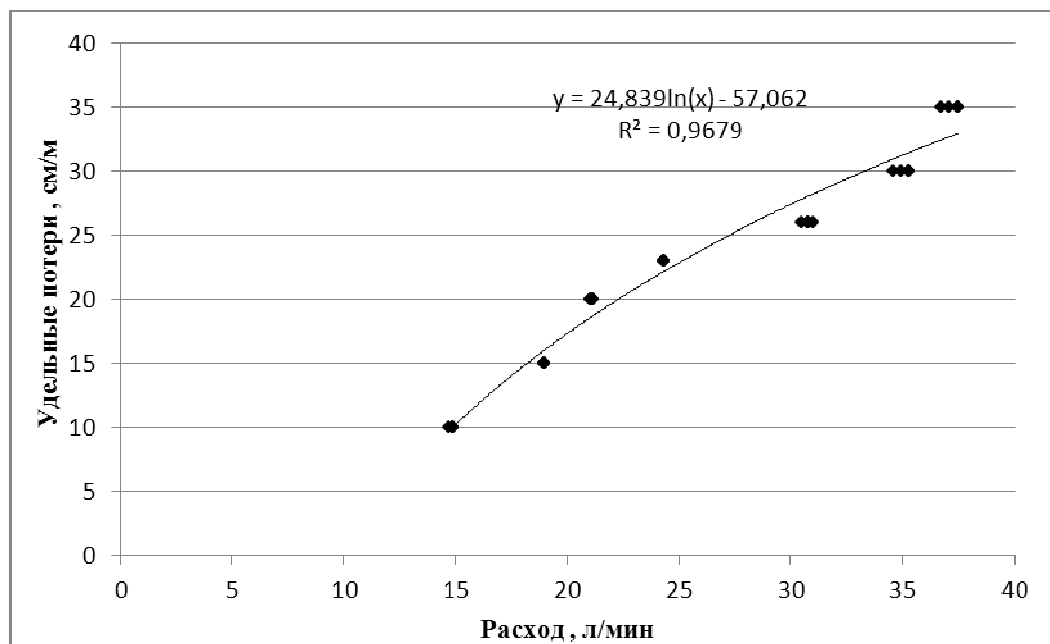


Рис. 2. График зависимости потери напора от расхода фильтра

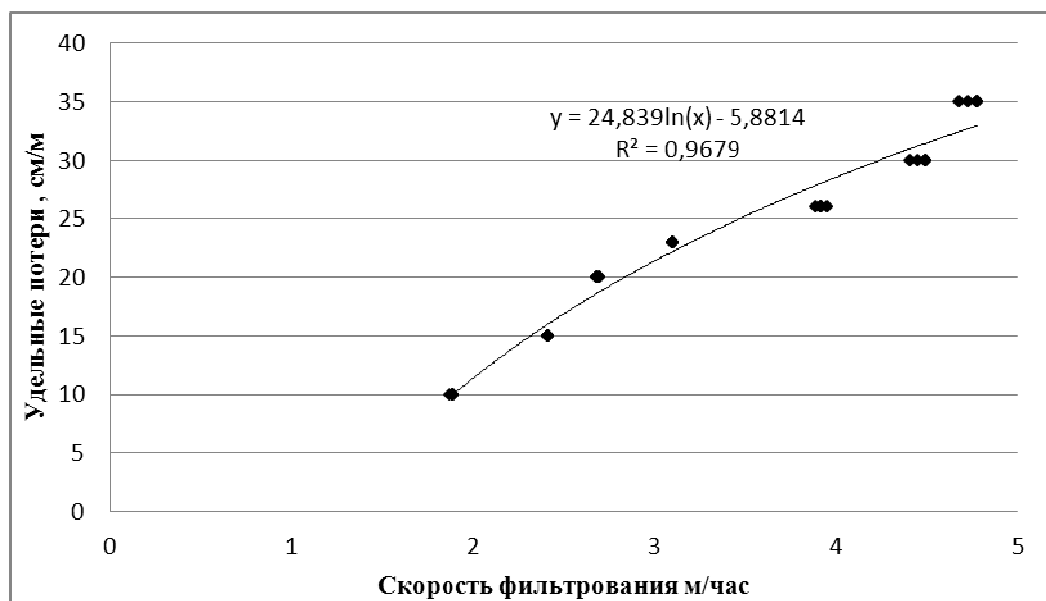


Рис. 3. График зависимости удельных потерь напора от скорости фильтрования

Также отслеживались показания в пьезометрах по высоте фильтровальной колонны при фильтрации снизу вверх, нулевая отметка соответствовала полу (рис.4).

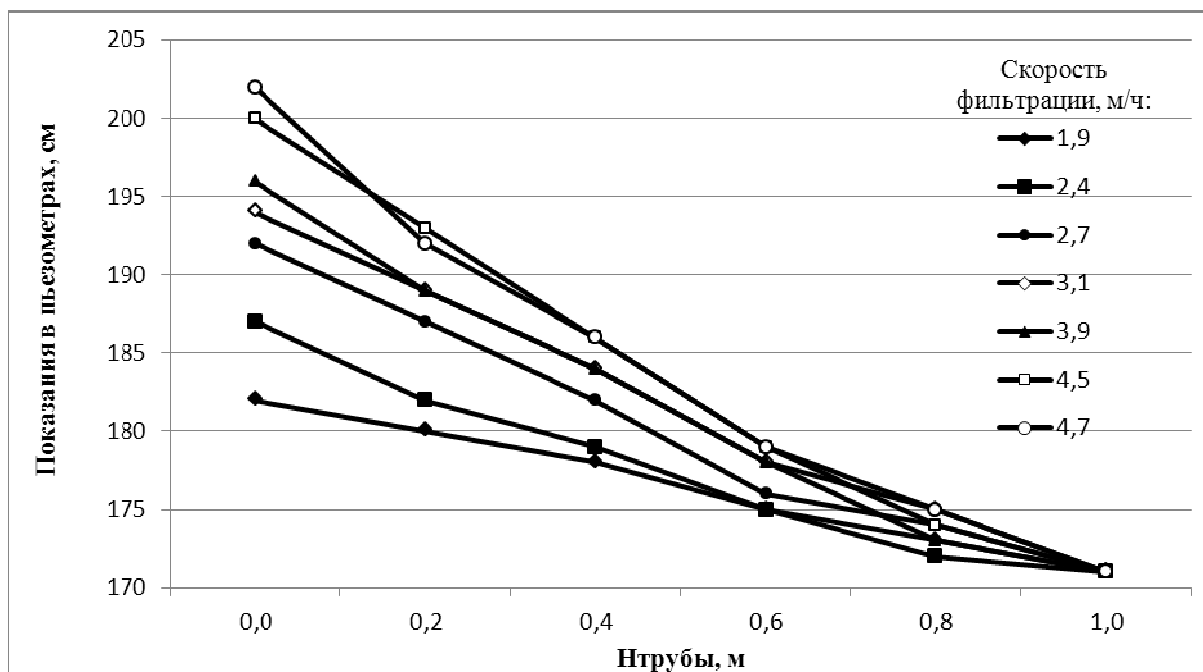


Рис. 4. График зависимости показаний пьезометров от потерь напора

Изменение потерь напора в теле фильтра достаточно равномерно по высоте. В среднем потери напора при скорости фильтрования 1,9-4,7 м/ч составляют 10-35 см на 1 м загрузки.

Полученные данные могут использовать при проектировании и наладке работы сооружений по очистке жидкостей фильтрованием.

АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОАГУЛЯНТОВ СУЛЬФАТА АЛЮМИНИЯ И ПОЛИОКСИХЛОРИДА АЛЮМИНИЯ ПРИ ОЧИСТКЕ ВОДЫ РЕКИ ВОЛОГДЫ

Д.Д. Корнев

*Научный руководитель С.В. Колобова, старший преподаватель
Вологодский государственный университет
г. Вологда*

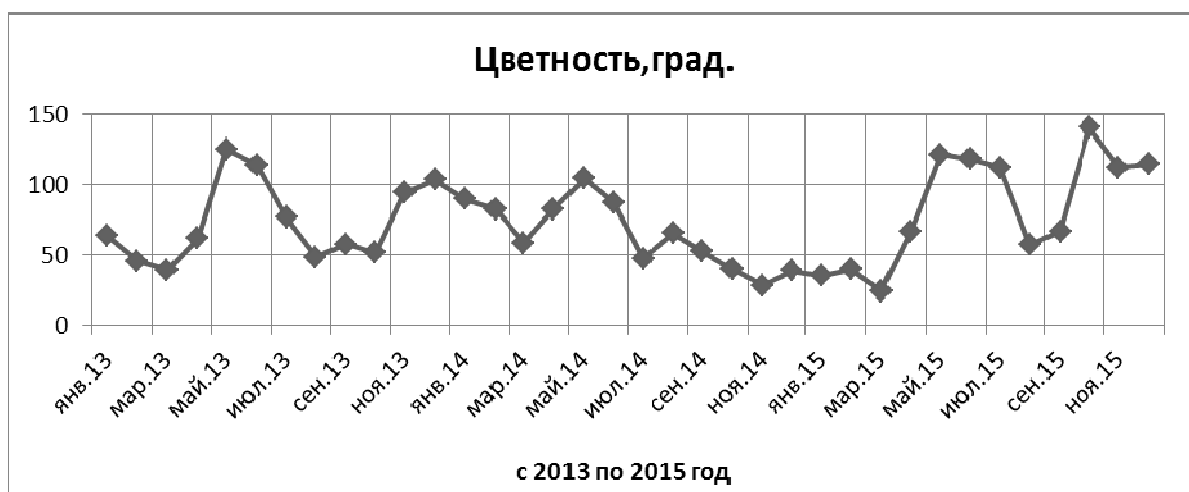
Источниками водоснабжения г. Вологды являются река Вологда и озеро Кубенское. Вода относится к маломутным водам средней цветности.

Основным технологическим приемом удаления из воды примесей, находящихся во взвешенном состоянии, а также коллоидных органических загрязнений является процесс коагуляции. Коагуляция – процесс слипания частиц в дисперсных системах, ведущий к уменьшению числа частиц дисперсной фазы, снижению их свободной поверхности и к увеличению массы каждой частицы [1].

На водопроводной станции г. Вологды на двух из трёх блоков принята двухступенчатая технологическая схема, в которую входят смеситель, камера хлопьеобразования, горизонтальный отстойник, скорый фильтр. Производительность первого блока равна 30000 м³/сутки, производительность второго блока 63000 м³/сутки. Ввод коагулянта происходит до смесителя, а после него вводится флокулянт. В качестве коагулянта применяется сульфат алюминия (СА), но в паводковый период и холодное время года данный коагулянт не может обеспечить необходимое качество воды. В качестве флокулянта применяется полиакриламид (ПАА).

На процесс коагуляции, к сожалению, влияет большое количество факторов, таких как pH, щелочность воды, анионный состав, температура воды, доза коагулянта, перемешивание, концентрация примесей [1]. Поэтому существует проблема подобрать реагент, который обеспечит более эффективную очистку. Так, в холодное время года может применяться коагулянт полиоксихлорид алюминия (ПОХА). Этот вид коагулянта имеет ряд преимуществ: более широкая область применения в интервале pH, возможность использования при низких температурах [2].

Содержание органических соединений как в воде р. Вологды, так и оз. Кубенского превышает допустимые для водоисточников нормативы. В период половодья наблюдается тенденция к увеличению цветности. Заметное влияние на цветность воды оказывает содержание железа, которое в водах р. Вологды и оз. Кубенского превышает допустимые нормативы. Качество воды за последние 3 года характеризуется средней мутностью 5,2 мг/л, в паводок мутность достигает значения 10 мг/л. Среднее значение цветности равно 72 градуса, в паводок цветность может достигать 130 градусов (рисунок 1а). Значения перманганатной окисляемости колеблются от 5 до 20 мг O₂/л, среднее значение 13 мг O₂/л.



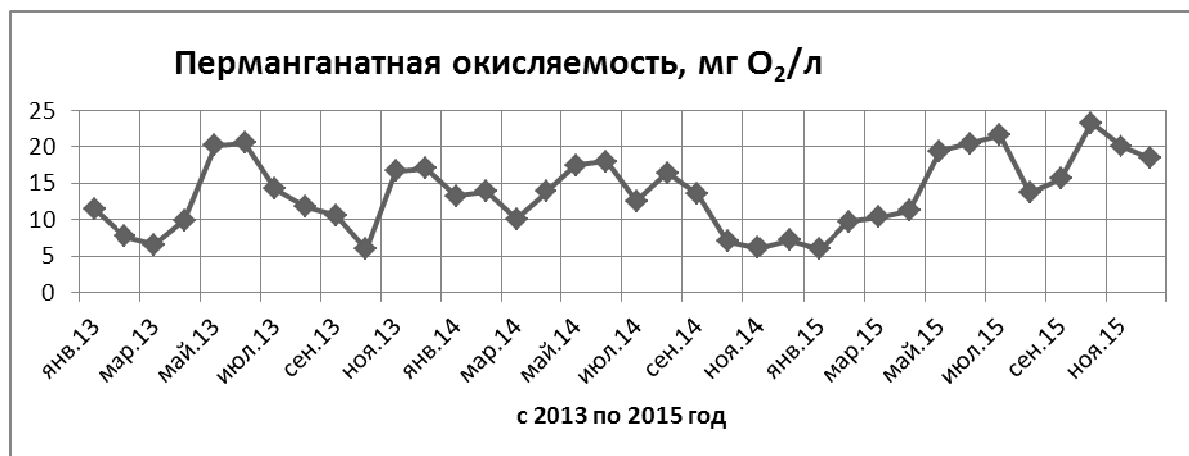


Рис. 1. Изменение качественных показателей воды реки Вологда (2013-2015 годы)

В данной работе приводятся результаты коагулирования воды из реки Вологда коагулянтами – сульфатом алюминия (СА) с массовой долей оксида алюминия 16% и полиоксихлоридом алюминия (ПОХА) с массовой долей оксида алюминия 30%. Основными показателями для оценки качества очищаемой воды приняты цветность и перманганатная окисляемость. Данные показатели определяли согласно стандартным методикам [3,4]. Мерные цилиндры заполняли исследуемой водой объемом 500 мл. Дозы коагулянта назначили 20,25,30,40,50 мг/л. После ввода коагулянта осуществляли перемешивание стеклянной палочкой в течение 3 минут, затем отстаивали в течение 45 минут. По истечении времени из верхней части отбирали пробы, фильтровали через бумажный фильтр «белая лента» и проводили определение цветности и перманганатной окисляемости. После 90 минут отстаивания определяли цветность воды.

Для определения эффективности работы коагулянтов опыты проводились при температурах исходной воды 4 °С и 15 °С. Цветность исходной воды составила 84,5 град., мутность – 7 мг/л, перманганатная окисляемость 8 мгO₂/л.

На рисунке 2 представлены результаты коагулирования воды при температуре 15 °С.

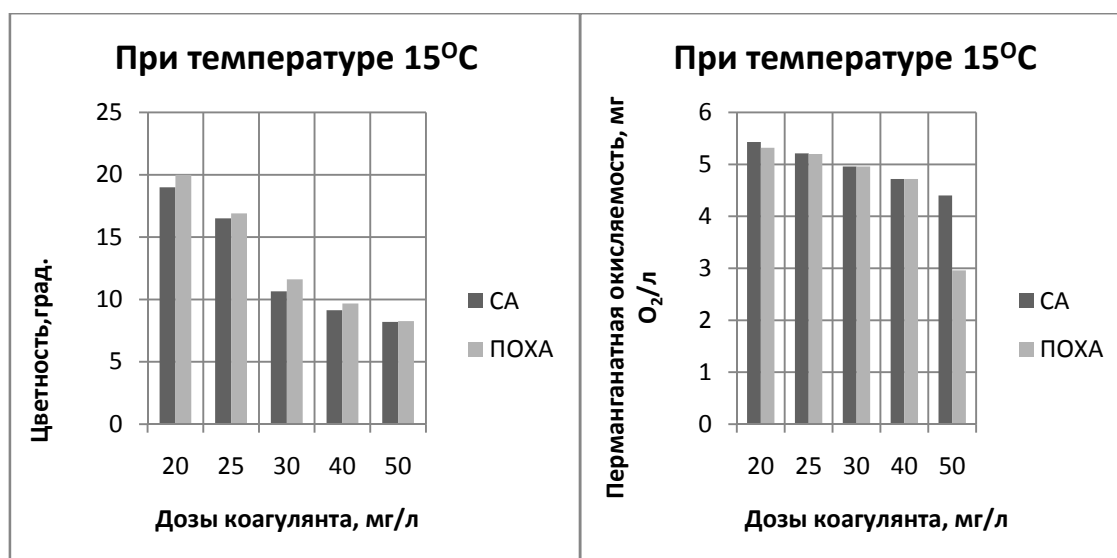


Рис. 2. Зависимость показателей качества воды от дозы коагулянта при температуре 15°C

На рисунке 3 представлены результаты коагулирования при температуре 4°C при исходной цветности воды 86,9 град, мутности – 6,8 мг/л, перманганатной окисляемости 8 мгO₂/л.

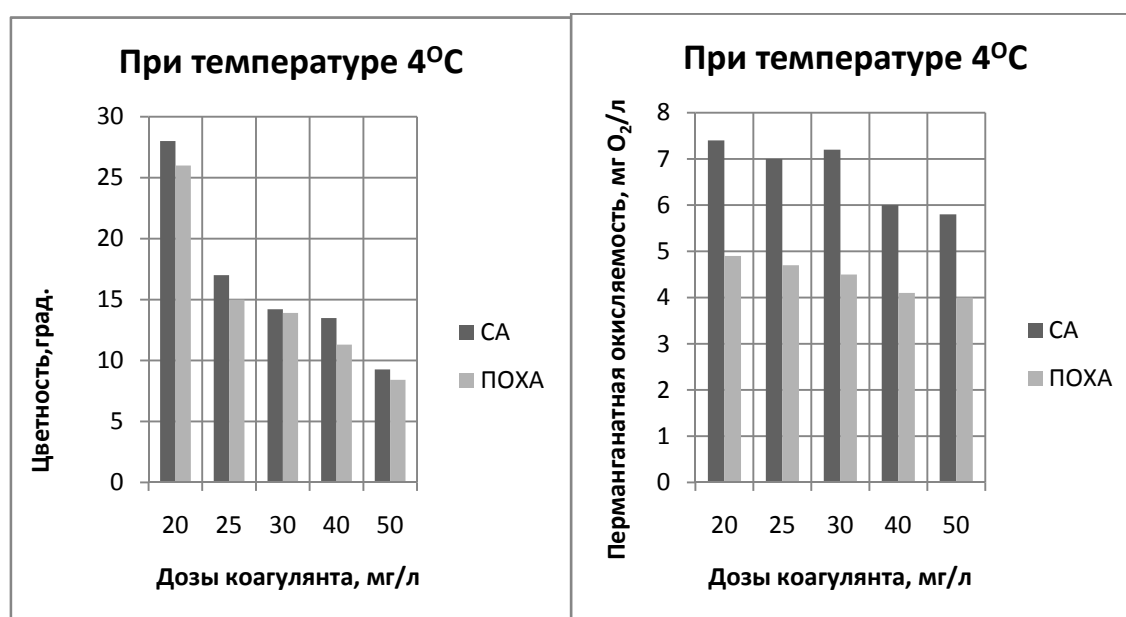


Рис. 3. Зависимость показателей качества воды от дозы коагулянта при температуре 4°C

Применение коагулянтов СА и ПОХА при температуре 15°C показало практически одинаковую интенсивность снижения цветности и перманганатной окисляемости. При дозе коагулянтов 30 мг/л эффект снижения цветности

для СА составил 87%, для ПОХА – 86,2%. Эффект снижения перманганатная окисляемости 38% – для СА, 38% – для ПОХА.

При проведении коагулирования с температурой воды 4°C эффект снижения перманганатной окисляемости для полиоксихлорид алюминия составил от 38% до 50% в зависимости от принятых доз. Эффект очистки для СА составил от 7% до 27%. Эффективность снижения цветности для ПОХА колеблется в пределах от 70% до 90%. Снижение цветности по СА в пределах от 67% до 88%.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- эффективность отчистки воды по цветности и перманганатной окисляемости при использовании рассматриваемых коагулянтов с температурой исходной воды 15 °С практически одинакова.
- коагулянт полиоксихлорид алюминия более эффективен при низких температурах по сравнению с сульфатом алюминия.

1. Драгинский, В.Л. Коагуляция в технологии очистки природных вод / В.Л. Драгинский, Л.П. Алексеева, С.В. Гетманцев. – М.: Науч. изд, 2005. – 576 с.

2. Сычев, А.В. Использование полиоксихлорида алюминия при подготовке питьевой воды на крайнем Севере /Л.П.Канивец, Н.М. Солтан, Л.Д. Батуева // Водоснабжение и санитарная техника. – 2003. – с. 30 – 31

3. Вода питьевая. Метод определения перманганатной окисляемости: ГОСТ Р 55684-2013. - Введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 31 октября 2013г. № 1320-ст.

4. Вода питьевая. Методы определения вкуса, запаха, цветности и мутности: ГОСТ 3351-74. - Введен в действие постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 1 июля 1975 г. № 1309-ст.

РАЗВИТИЕ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВОДЕНИЯ И НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ В РОССИИ

Е.Д. Косихина

Научный руководитель С. Ю. Теплых, канд. техн. наук, доцент

Архитектурно-строительный институт

Самарского государственного технического университета

г. Самара

Первые системы подачи воды в России возникли еще в IX-XII веках. Об этом свидетельствуют найденные во время раскопок на территории Великого Новгорода старинные водопроводные системы. В то время водоснабжение

подразделялось на самотечную водопроводную сеть и каналы для водостока и дренажа. Старинные водопроводные системы – самотечные с деревянными трубами – были обнаружены также и в других городах Древней Руси. Для регулирования тока воды применялись деревянные задвижки – старейшая арматура.

Водопровод в Москве появился в конце XV века, когда по указанию Ивана Грозного от Москвы-реки по дубовой трубе вода стала подаваться в колодец, которым могли пользоваться горожане. При строительстве кирпичного Кремля в 1492 году были проложены водопроводные трубы. А первый напорный водопровод появился в России в XVII веке.

В эпоху царствования Петра I водоснабжение в России стало развиваться. Все царские дворцы были оборудованы водопроводами. В это же время стали применяться как свинцовые, так и медные трубы. Однако городской водопровод, которым могли пользоваться не только высшие особы, но и другие горожане, впервые появился в России только в начале XIX века.

К началу XX века централизованным водоснабжением в России было охвачено около 20% городов, преимущественно промышленных и фабрично-заводских, причем вода подавалась в основном не в дома, а на предприятия. В 1910 году более 149 городов России получили централизованные водопроводные сети. Вода в них поступала из природных источников – рек, подземных родников, артезианских и грунтовых колодцев – с использованием насосов. Первая мировая война, революция и Гражданская война вновь обострили проблему водоснабжения. Данный вопрос стал решаться в 1920-е годы – строительством новых и восстановлением старых систем. Постепенно строились водопроводы на Дальнем Востоке, в Сибири. К 1930 году Москва сумела выйти по потреблению водопроводной воды на уровень 1913 года [3].

Первое упоминание о Москве в летописях датируется 1147 г. Город был основан на берегу р. Москвы между ее притоками – Неглинной и Яузой. Из этих поверхностных источников, а также из подземных ключей на протяжении почти семи столетий горожане осуществляли неорганизованный отбор воды, как для питья, так и для хозяйственных нужд.

Первый централизованный водопровод в Москве начал строиться в 1779 году по личному указу Екатерины II. Источником водоснабжения служили под русловые воды реки Яузы вблизи села Большие Мытищи. Строительные работы длились 25 лет, и 28 октября 1804 года состоялось открытие водопровода.

В марте 1900 г. городская Дума утвердила выбор окрестностей деревни Рублево в качестве места водозабора и как площадку для строительства водоподъемных и очистных сооружений. Закладка Рублёвской станции состоялась 15 июля 1901 года.

В 1903 г. с вводом в эксплуатацию первой водопроводной станции (Рублёвской) на Москве-реке началась новая эпоха в развитии системы водоснаб-

жения. Основным технологическим приемом очистки поверхностной воды было медленное фильтрование. С этого момента до наших дней в водоснабжении Москвы основная доля приходится на воду поверхностных источников.

В 30-х годах XX века начался второй этап развития московского водопровода. К этому времени ресурс реки Москвы, как источника водоснабжения, был практически исчерпан. Генеральным планом развития столицы было намечено строительство системы водохранилищ на реке Волге, канала им. Москвы и Сталинской (в настоящее время Восточной) водопроводной станции.

Строительство началось в 1935 году, а 16 июля 1937 года в Москву уже были поданы первые кубометры волжской воды. В 1975 году на Восточной водопроводной станции начала работать первая промышленная установка по озонированию воды.

В октябре 1947 г. постановлением Правительства было принято решение о строительстве Северной водопроводной станции. Первые сооружения Северной в составе насосной станции 1 подъема на Клязьминском водохранилище и 1-го блока очистных сооружений мощностью 500 тыс. м³/сут вошли в эксплуатацию в марте 1952 г. К 1974 году, после ряда реконструкций, проводимых без остановки производства, мощность Северной станции достигла 1920 тыс. м³/сут [2].

В первые годы советской власти проблемы с водоснабжением обострились в связи с тем, что в период революции и Гражданской войны новые системы обеспечения водой практически не строились, а ремонт уже существующих был «косметическим», т. е. без замены труб, углов, насосов и машин, подававших воду потребителям. То же самое можно сказать о водоотведении. Однако в 1920-е гг. были сделаны первые шаги в решении проблем централизованного водоснабжения [1].

В первые годы образования РСФСР правительство уделяло большое внимание развитию водоснабжения и санитарии. Уже в 1928 г. водопроводы были построены в 73 городах. Высокими темпами шло строительство новых и расширение действующих водопроводов в годы первых пятилеток. Достаточно сказать, что к концу 30-х гг. объем водопотребления из городских водопроводов увеличился почти в 6 раз по сравнению с 1917 г. Для улучшения водоснабжения Москвы были построены Истринское и Иваньковское водохранилища и канат им. Москвы, связавший Москву-реку с Волгой и значительно увеличивший водные ресурсы столицы [5].

В годы Великой Отечественной войны все хозяйство страны было подчинено нуждам фронта. Водопроводное хозяйство многих промышленных предприятий и населенных мест должно было обеспечивать бесперебойную подачу воды на нужды заводов оборонного значения и на борьбу с пожарами в условиях бомбардировок и обстрелов. Советское водопроводное хозяйство успешно справлялось с возложенной на него задачей. После Великой Отечественной войны пришлось выполнять огромные восстановительные работы и

перейти к новому строительству. 1960 гг. водопроводы построили и восстановили в 580 городах. По всем направлениям водоснабжения и связанной с ним санитарно-гигиенической науки развернулись обширные научные исследования и разработки, инициаторами и основными участниками которых были Академия коммунального хозяйства им. К.Д. Памфилова, ВНИИ ВОДГЕО, кафедры инженерно-строительных и медицинских вузов, Всесоюзный научно-исследовательский институт экологии и гигиены окружающей среды им. А.Н. Сысина, Всесоюзный научно-исследовательский институт экологии и гигиены окружающей среды им. Ф.Ф. Эрисмана, коллективы Гипрокоммун-водоканала. В этот период разработаны и получили внедрение новые виды водозаборных сооружений, было разработано много нормативных и руководящих материалов (СНиПы, ГОСТы и т. д.). Разработаны типовые проекты водопроводных сооружений, которые нашли широкое применение в массовом строительстве и реконструкции этих объектов [5].

В конце XX века приступили к реконструкции станций водоподготовки, основной задачей которой было совершенствование процессов очистки питьевой воды путем внедрения новых современных технологий и повышение уровня надежности всей системы водоснабжения [2].

Снижение аварийности – одна из главных задач СКС. В Самаре в последние годы в системе водоснабжения и водоотведения происходят значительные изменения и обновления, которых не было с конца 70-х годов XX века. Это влияет на улучшение качества воды, сокращение потерь, уменьшение аварийности.

Целенаправленные, научно обоснованные действия уже в первые годы работы «Самарских коммунальных систем» дали серьезные результаты: в 2015 году (по сравнению с 2013 – годом начала работы СКС) аварийных ситуаций на сетях водоснабжения произошло на 23% меньше, а на сетях канализации – почти на 50%.

Работы на сетях и головных сооружениях продолжаются, продолжает снижаться и аварийность. Так, за 10 месяцев 2016 года количество технологических отказов на сетях водоснабжения и водоотведения снизилось примерно на 5% по сравнению с аналогичным периодом прошлого года.

Водопроводные и канализационные колодцы, а их в Самаре более 72 тысяч, являются важной составляющей систем водоснабжения и водоотведения города и всегда должны находиться в исправном состоянии. От этого зависит оперативность и качество ремонта сетей. Именно поэтому такое большое внимание уделяется в СКС их состоянию. За 10 месяцев текущего года «Самарские коммунальные системы» провели ремонт 651 водопроводного и 742 канализационных колодцев, заменили 884 люка.

Также с начала года специалисты СКС заменили 110 и отремонтировали 443 пожарных гидранта, заменили 23 и отремонтировали 355 водоразборных колонок [4].

1. Гущин, Н.И. Водоснабжение Москвы / Н.И. Гущин. – М.: Стройиздат, 1926.
2. Сайт Профсоюзного комитета АО "Мосводоканал": www.mosvodokanal.ru
3. Сайт фирмы ООО "Ингазтех": www.ingazteh.ru.
4. Сайт фирмы ООО "Самарские коммунальные системы": www.samcomsys.ru
5. Стяжкова, Л.И. и др. Пермской канализации 90 лет // Водоснабжение и санитарная техника. – 2007. – №9. – С. 44-46.

ОЦЕНКА ПЛАВАЮЩЕЙ ЗАГРУЗКИ ДЛЯ БИОРЕАКТОРОВ

Н.А. Кузнецов

*Научный руководитель А.А. Кулаков, канд. техн. наук
Вологодский государственный университет
г. Вологда*

В настоящее время актуальной проблемой в сфере водоотведения является недостаточная эффективность очистки сточных вод. Поэтому приоритетным направлением в этой сфере является применение современных и в тоже время энергоэффективных методов очистки.

Основной стадией очистки сточной воды является биологическая. Чаще всего биологическая очистка производится на аэротенках. Но существуют и альтернативные методы. Одним из таких является биореактор.

Биореактор представляет собой емкость с пластиковой загрузкой. Загрузка для биореакторов делится на два типа: подвижная и неподвижная (блочная). Наиболее эффективной и менее подверженной заиливанию и обрастанию является подвижная. Пластиковая загрузка постоянно находится в условиях интенсивной турбулентности в течение всего процесса. Стоки заполняют реактор, где микроорганизмы растут, образуя в плёнку на поверхности пластиковых насадок, тем самым снижая количество органики в сточных водах, удаляя при этом ХПК, БПК и токсичность. Основная часть органики вымывается вместе с очищенными стоками.

На данный момент существует большое разнообразие видов пластиковой загрузки. Каждый вид имеет свои параметры такие как: удельная площадь поверхности, насыпная плотность, размер и др.

Целью данной работы является исследование динамических характеристик плавающей загрузки.

В лабораторных условиях моделировался процесс свободного всплытия загрузки в воде. В качестве опытной установки послужил стеклянный цилиндр (рис. 1), в котором высота всплытия загрузки составила один метр.

Исследованы два вида пластиковой загрузки (рис.2). Оба вида загрузки отличаются друг от друга размером, формой исполнения и поверхностной плотностью. Каждый вид был представлен в двух состояниях: полностью сухой и выдержанный в водопроводной воде в течение 5 суток.

В результате исследований было выявлено, что скорость загрузки значительно различается от того в каком виде находиться загрузка, сухом или мокрым. Результаты исследований представлены в таблице, а также на рис. 3.

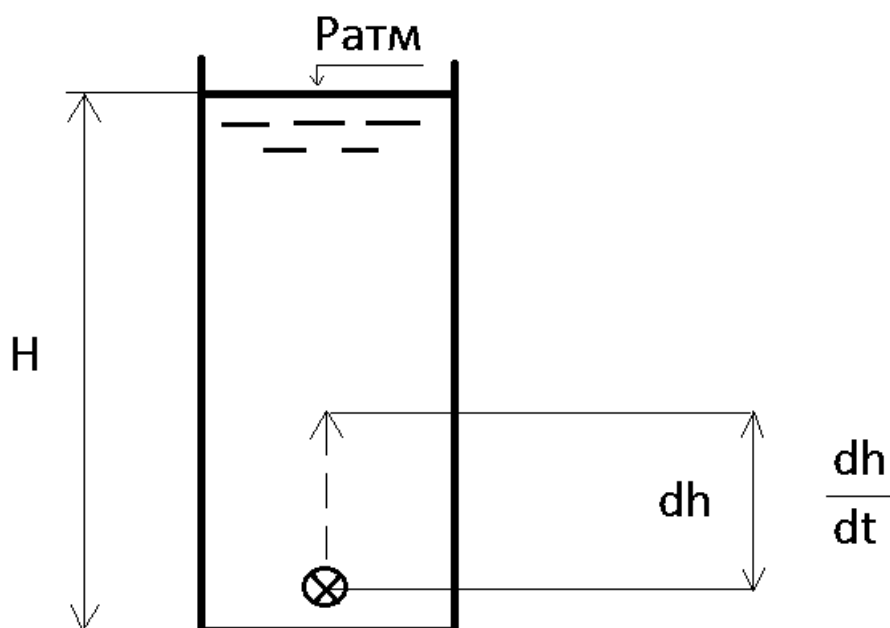


Рис. 1. Экспериментальная установка

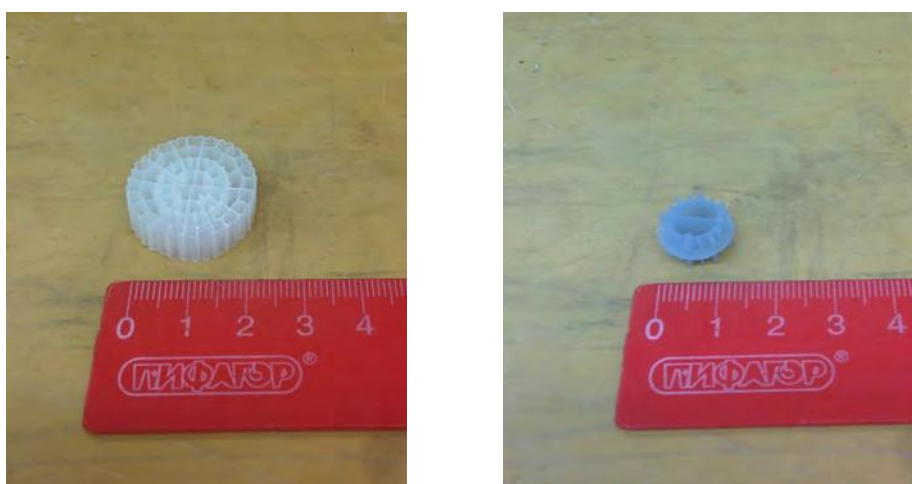


Рис. 2. Загрузка для биореактора №1 (слева) и №2 (справа)

Таблица

Скорости всплытия пластиковой загрузки

элемент	Скорость всплытия, м/с			
	№1 (сухая)	№1 (мокрая)	№2 (сухая)	№1 (мокрая)
1	0,21	0,04	0,11	0,05
2	0,19	0,04	0,09	0,05
3	0,16	0,04	0,08	0,05
4	0,12	0,04	0,07	0,04
5	0,14	0,04	0,08	0,05
6	0,14	0,04	0,09	0,05
7	0,16	0,04	0,10	0,05
8	0,13	0,04	0,10	0,05
9	0,11	0,04	0,09	0,05
10	0,10	0,04	0,09	0,04
Vmin	0,08	0,03	0,03	0,03
Vcp	0,13	0,03	0,08	0,04
Vmax	0,21	0,04	0,11	0,06

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод о том, что скорость насыщенной водой загрузки меньше, чем у сухой. Это обуславливается наличием микропор, в которые попадает вода, вследствие чего загрузка становится тяжелее и теряет свою прежнюю скорость. Тем самым плотность пластиковой загрузки становится близкой к плотности воды. На основе результатов опыта можно также сделать вывод о том, что при насыщении водой загрузка разных видов имеет примерно равную скорость. Анализируя график изменения средней скорости плавающей загрузки, видим, что скорость остается постоянной на протяжении всего пути всплытия. Полученные данные полезны при проектировании и моделировании процессов очистки в биологическом реакторе.

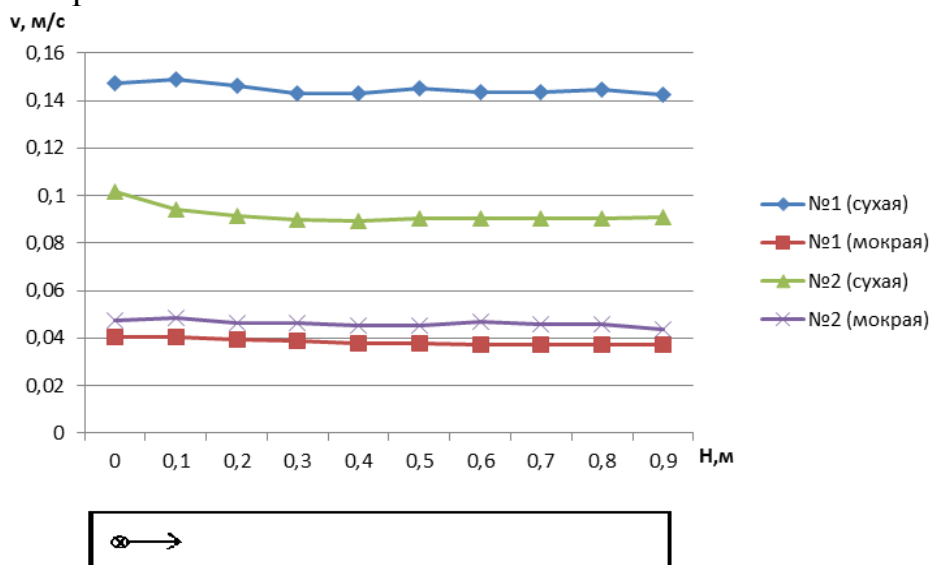


Рис. 3. График изменения средней скорости плавающей загрузки