

УДК 624.014.7

2.1.1 Строительные конструкции,
здания и сооружения (технические науки)

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ПОКРЫТИЯ ЗДАНИЯ ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА, ЭКСПЛУАТИРУЕМОГО НА ОТКРЫТОМ ВОЗДУХЕ

А. П. Малышкин, А. В. Есипов, А. И. Бараняк, М. А. Есипов
Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

THERMAL DEFORMATIONS OF THE BUILDING COVERING MADE FROM THE ALUMINUM ALLOY OPERATED OUTDOORS

Aleksandr P. Malyshkin, Andrei V. Esipov, Andrej I. Baranyak, Mixail A. Esipov
Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

Аннотация. Целью проведенных численно-аналитических исследований являлся анализ годовых температурных деформаций большепролетного покрытия здания ледового Дворца спорта в г. Тюмени. Конструкция покрытия выполнена из алюминиевого сплава марки 1915 и эксплуатируется на открытом воздухе. Перепады температур наружного воздуха в течение года привели к значительным температурным деформациям покрытия в поперечном направлении. Сопоставление полученных расчетных значений температурных деформаций ферм покрытия с нормативными предельными величинами позволило сделать вывод о неудачной с точки зрения восприятия климатических воздействий несущей структуре покрытия. Применение классических подходов к проектированию покрытий здания внутри теплого контура позволяет значительно снизить риски возникновения дефектов и повреждений конструкций при их длительной эксплуатации.

Ключевые слова: обследование металлических конструкций, температурные воздействия, температурные деформации, расчет температурных деформаций

Abstract. The purpose of the numerical and analytical studies was to analyze the annual temperature deformations of the long-span coating of the Sports Arena building in Tyumen. The structure of covering is made of 1915 grade aluminum alloy and is operated outdoors. Annual differences in outdoor air temperatures led to significant temperature deformations of the building covering in the transverse direction. Comparison of the obtained calculated values of thermal deformations of the roof trusses with the normative limit values made it possible to conclude that the bearing structure of the covering is poor from the point of view of perception of climatic influences. The use of classic approaches to the design of building coverings inside the thermal circuit makes it possible to significantly reduce the risks of defects and damage to structures during their long-term operation.

Key words: inspection of metal structures, temperature effects, thermal deformations, calculation of thermal deformations

Для цитирования: Температурные деформации покрытия здания из алюминиевого сплава, эксплуатируемого на открытом воздухе / А. П. Малышкин, А. В. Есипов, А. И. Бараняк, М. А. Есипов. – DOI 10.31660/2782-232X-2023-4-6-16. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2023. – № 4 (106). – С. 6–16.

For citation: Malyshkin, A. P., Esipov, A. V., Baranyak, A. I., & Esipov, M. A. (2023). Thermal deformations of the building covering made from the aluminum alloy operated outdoors. Architecture, Construction, Transport, (4(106)), pp. 6-16. (In Russian). DOI 10.31660/2782-232X-2023-4-6-16.

Введение

Применение большепролетных конструкций из алюминия в мировой практике обусловлено рядом факторов, а именно – малым собственным весом, совмещением функций несущей и ограждающей конструкции, быстрым монтажом пространственных блоков покрытия при малом объеме работ на высоте, а также антикоррозионной стойкостью элементов покрытия и снижением эксплуатационных затрат за счет уменьшения отапливаемого объема здания и применения герметичной кровельной алюминиевой мембраны.

Первое большепролетное покрытие из алюминиевых пространственных блоков с предварительно напряженной обшивкой было разработано и смонтировано в Москве в 1971 г. при поддержке академика А. Ф. Белова для Малого выставочного павильона Всесоюзного института легких сплавов (ВИЛС) [1, 2]. В последующие годы в СССР было успешно осуществлено строительство ряда уникальных объектов с использованием алюминиевых блоков покрытия (таблица 1).

Важным моментом при изготовлении пространственных блоков покрытия было освоение технологии соединения несущих стержневых элементов при помощи сварных стыковых швов под защитой инертного газа [3, 4], хотя и была возможность применять болтовые соединения не только в качестве второстепенных элементов [5, 6].

Одновременно с этим, техническое решение с утеплением покрытия здания в уровне нижних поясов стропильных ферм покрытия, обусловленное идеей экономии энергоресурсов при уменьшении отапливаемого объема здания,

Таблица 1
Table 1

*Здания, построенные с применением
алюминиевых блоков покрытия
Buildings constructed using aluminum roof blocks*

Объект	Пролет, м	Расход Al, кг/м ²	Вес, кг/м ²
Выставочный павильон (Москва, ЦНИИЭП Жилища)	30	13	20
Дом мебели, (Рига, Латвгражданпроект)	36	15	22
Легкоатлетический манеж (Кишинев, Кишиневгражданпроект)	48	18	25
УДС «Крылья Советов» (Москва, ЦНИИЭП Жилища)	60	20	30
Выставочный павильон (Москва, ЦНИИЭП Жилища)	84	20	32
Ледовый Дворец спорта (Тюмень, Тюменьгражданпроект)	60	23	35
Киноконцертный зал, (Ялта, Ленгипроттеатр)	36	20	28

привело к вынужденной эксплуатации части несущих конструкций в условиях открытого воздуха с температурными перепадами как в течение года, так и в течение суток.

В настоящее время в Российской Федерации, основываясь на результатах научных исследований, большой пласт которых посвящен изучению физико-механических свойств алюминиевых сплавов [7–12], реологическим свойствам алюминиевых сплавов [13, 14], их свариваемости [15–17] и т. д., а также принимая во внимание

опыт возведения зданий с использованием большепролетных алюминиевых конструкций, предложены различные проекты реконструкций покрытий стадионов и спортивных комплексов с использованием алюминиевых и сталеалюминиевых блоков покрытия.

Однако теоретические возможности и достоинства алюминиевых сплавов в качестве материала для несущих конструкций зданий и сооружений до сих пор были недостаточно изучены с точки зрения эксплуатации большепролетных покрытий в условиях знакопеременных температур.

Объект и методы исследования

Объектом исследования является Дворец спорта в г. Тюмени (рис. 1). Строительство здания осуществлялось с 1980 по 1985 г. по проекту малой спортивной арены «Спартак». Проектировщиком выступил институт «Тюменьгражданпроект».

Покрытие спортивной арены разработано ВИЛС. Кроме того, в разработке алюминиевых

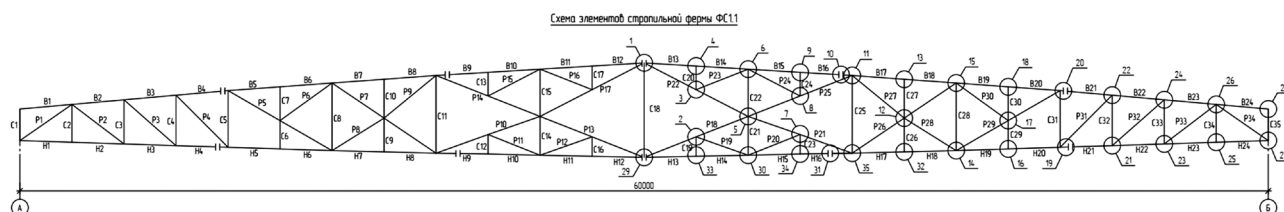
конструкций приняли участие ЦНИИПСК, ЦНИИСК, ВИЛС и другие научно-исследовательские институты СССР. Был разработан новый алюминиевый сплав марки 1915 с заданными свойствами (ВИАМ), разработана и освоена технология производства прессованных профилей из этого сплава (ВИЛС) [1].

Покрытие арены имеет размер 96×60 м и состоит из 16 отдельных, не взаимосвязанных между собой, предварительно напряженных пространственных блоков. Блоки покрытия размером 60×6 м каждый представляют собой пространственные фермы, которые состоят из двух стропильных ферм, отстоящих друг от друга на расстоянии 5.5 м и соединенных между собой поперечными вертикальными связями и решетчатыми диафрагмами с подвесами к нижнему поясу блока.

Стропильные фермы пространственных блоков – трапецеидальной формы со шпренгельной решеткой. Высота ферм в коньке и на опоре – 4.5 и 1.5 м соответственно (рис. 2).



Рис. 1. Общий вид здания Дворца спорта в г. Тюмени
Fig. 1. General view of the Sports Arena building in Tyumen



Верхние пояса ферм выполнены из несимметричных алюминиевых двутавров с бульбами по краям верхней полки двутавра, нижние – из алюминиевых тавров (рис. 3). Решетка ферм, горизонтальные и вертикальные связи – также из алюминиевых профилей в виде парных уголков и труб.

Нижняя обшивка пространственных блоков покрытия (потолок помещения ледовой арены) выполнена из алюминиевого листа толщиной 1 мм с предварительной вытяжкой расчетным усилием. Обшивка приклепана к фермам пространственных блоков и участвует в совместной работе блока под нагрузкой.

Верхняя обшивка пространственных блоков выполнена из гладкого алюминиевого листа толщиной 1 мм, играет роль ограждающей конструкции покрытия и является кровлей. Обшивка вытянута до выбора «хлопунов» и приклепана к фермам.

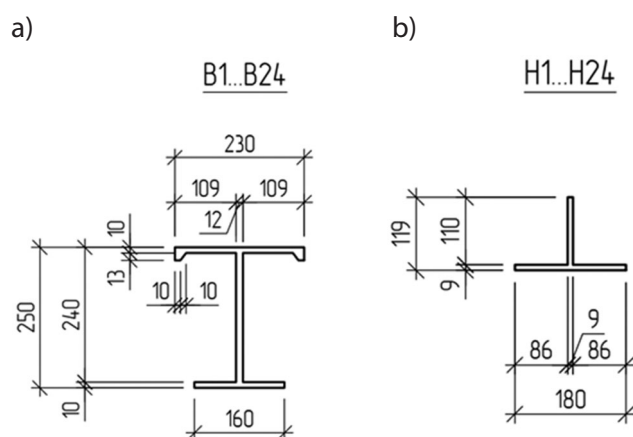


Рис. 3. Сечение верхних (a) и нижних (b) поясов ферм
Fig. 3. Section of the upper (a) and lower (b) chords of the trusses

По нижним листам пространственных блоков в качестве утеплителя были проложены два мата из минеральной ваты размерами 1 500 × 600 × 40 мм каждый (рис. 4). Общая толщина слоя утеплителя составила 80 мм.

Пространственные блоки собирали на земле, укладывали утеплитель и пароизоляцию. Готовые крупноразмерные элементы покрытия



Рис. 4. Утепление в уровне нижних поясов ферм
Fig. 4. Insulation at the level of the lower chords of the trusses

выполняли как несущие, так и ограждающие функции [2].

В ходе проведения обследования технического состояния здания был измерен вес матов в разных частях блока БП-16 и блока БП-12. Вес утеплителя блока по краям здания составил 4.5 кг/м², в центральных частях чердачного пространства – 2.4–3.6 кг/м². Влажность и увеличение веса утеплителя обусловлены недостаточной продуваемостью чердачного пространства, что приводит к образованию наледи и «куржака» на внутренней поверхности верхней обшивки покрытия, последующему выпадению конденсата и накоплению влаги в утеплителе. При этом вес утеплителя увеличен неравномерно: по краям блоков и ближе к центру здания наблюдается большее замачивание утеплителя, в торцах в центральной части утеплитель легче, т. к. эти области являются продуваемыми (работают вытяжные вентиляторы).

Для оценки температурных воздействий и их влияния на покрытие здания от перепадов годовых и суточных температур был выполнен температурный расчет покрытия и сопоставлены деформации покрытия с предельно допустимыми значениями (п. Д.2.4.1 СП 20.13330.2016¹).

Результаты

Согласно проведенному в рамках обследования здания количественному химическому анализу, материал ферм и обшивок покрытия может быть отнесен к алюминиевому сплаву системы алюминий – цинк – магний (Al – Zn – Mg) марки 1915. Расчетное сопротивление алюминия данной марки, в соответствии с п. 6.1 СП 128.13330.2016², составляет 230 МПа, что меньше полученного при испытаниях 305 МПа в 1.3 раза. Это свидетельствует об изменении физико-механических свойств алюминиевого сплава с течением времени [7–19].

Проведем оценку годового перепада температур для расчета температурно-климатических воздействий на несущие конструкции покрытия.

Основным параметром материала, отвечающим за температурные деформации конструкций, является коэффициент линейного расширения, для алюминия он равен $0.23 \cdot 10^{-4} \frac{1}{^\circ\text{C}}$ в диапазоне температур от –70 до +100 °С (приложение Б СП 128.13330.2016), что в два раза пре-

вышает аналогичный параметр у конструкционной стали.

Определим нормативные значения температур наружного воздуха для теплого t_w и холодного t_c периодов года как для неотапливаемого и незащищенного от воздействия солнечной радиации покрытия здания в соответствии с табл. 13.1 СП 20.13330.2016:

$$t_w = t_{ew} + \theta_1 + \theta_4, \quad t_c = t_{ec} - 0.5 \cdot \theta_1,$$

где t_{ew} , t_{ec} – средние суточные температуры наружного воздуха в теплое и холодное время года, принимаемые в соответствии с п. 13.4 данного СП;

θ_1 – приращение средних по сечению элемента температур и перепада температур от суточных колебаний температуры наружного воздуха, принимаемое по табл. 13.2 СП 20.13330.2016;

θ_4 – приращение средних по сечению элемента температур и перепада температур от солнечной радиации, принимаемое в соответствии с п. 13.5 СП 20.13330.2016.

Средние суточные температуры наружного воздуха в теплое и холодное время года:

$$t_{ec} = t_{min} + 0.5 \cdot A_1, \quad t_{ew} = t_{max} - 0.5 \cdot A_{VII},$$

где t_{min} и t_{max} – нормативные значения минимальной и максимальной температуры воздуха в соответствии с приложением Е СП 131.13330.2020³;

¹ Нагрузки и воздействия = Loads and actions : СП 20.13330.2016 : утвержден приказом Министерства строительства и ЖКХ Российской Федерации (Минстрой России) от 3 декабря 2016 г. № 891/пр и введен в действие с 4 июня 2017 г. / исполнители – ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство» при участии ФГБУ «Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова». – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : сайт. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/456044318> (дата обращения: 07.03.2023).

² Алюминиевые конструкции = Aluminium structures : СП 128.13330.2016 : Актуализированная редакция СНиП 2.03.06-85 : утвержден Приказом Министерства строительства и ЖКХ РФ от 16 декабря 2016 г. № 948/пр и введен в действие с 17 июня 2017 г. / исполнители – АО «НИЦ «Строительство» ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко, институт ЦНИИПСК им. Мельникова, ЗАО «МЕТАКОН ЦЕНТР». – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : сайт. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/456044319> (дата обращения: 07.03.2023).

³ Строительная климатология = Building climatology : СП 131.13330.2020 : утвержден приказом Министерства строительства и ЖКХ РФ от 24 декабря 2020 г. № 859/пр и введен в действие с 25 июня 2021 г. / исполнители – ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук» (НИИСФ РААСН) при участии ФГБУ «Главная геофизическая обсерватория имени А. И. Воейкова». – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : сайт. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573659358> (дата обращения: 07.03.2023).

A_I, A_{VII} – средние суточные амплитуды температуры воздуха наиболее холодного и наиболее теплого месяца соответственно, принимаемые по табл. 3.1 и 4.1 СП 131.13330.2020.

Нормативные значения минимальной и максимальной температуры воздуха в соответствии с СП 20.13330.2016: $t_{min} = -50\text{ °C}$, $t_{max} = +38\text{ °C}$.

Средние суточные амплитуды температуры воздуха наиболее холодного и наиболее теплого месяца в соответствии с СП 131.13330.2020: $A_I = 9.2\text{ °C}$, $A_{VII} = 11.4\text{ °C}$.

Тогда значения средних суточных температур наружного воздуха в теплое и холодное время года равны:

$$t_{ec} = -50 + 0.5 \cdot 9.2 = -45.4\text{ °C},$$

$$t_{ew} = 38 - 0.5 \cdot 11.4 = 32.3\text{ °C}.$$

Приращение средних по сечению элемента температур и перепада температур от суточных колебаний температуры наружного воздуха, принимаемое по табл. 13.2 СП 20.13330.2016: $\theta_I = 8\text{ °C}$.

Приращение средних по сечению элемента температур и перепада температур от солнечной радиации, принимаемое в соответствии с п. 13.5 СП 20.13330.2016:

$$\theta_4 = 0.05 \cdot \rho \cdot S_{max} \cdot k,$$

где ρ – коэффициент поглощения солнечной радиации материалом наружной поверхности конструкции, принимаемый по табл. 13.3 СП 20.13330.2016;

S_{max} – максимальное значение суммарной (прямой, рассеянной и отраженной) солнечной радиации, Вт·ч/м, принимаемое для горизонтальных поверхностей по табл. 13.4, а для вертикальных поверхностей различной ориентации – по табл. 13.5 СП 20.13330.2016;

k – коэффициент, принимаемый по табл. 13.6 СП 20.13330.2016.

Для алюминия коэффициент поглощения солнечной радиации материалом наружной поверхности конструкции $\rho = 0.5$.

Максимальное значение суммарной (прямой, рассеянной и отраженной) солнечной ради-

ации для горизонтальных поверхностей для 57.8° с. ш. (г. Тюмень): $S_{max} = 804.8\text{ Вт·ч/м}$.

Коэффициент $k = 0.7$ для металлических конструкций зданий.

Приращение средних по сечению элемента температур и перепада температур от солнечной радиации:

$$\theta_4 = 0.05 \cdot 0.5 \cdot 804.8 \cdot 0.7 = 14.1\text{ °C}.$$

Нормативные значения температур для теплового t_w и холодного t_c периодов года:

$$t_w = +32.3 + 8 + 14.1 = +54.4\text{ °C},$$

$$t_c = -45.4 - 0.5 \cdot 8 = -49.4\text{ °C}.$$

Таким образом, годовой перепад температур составит:

$$\Delta t = t_w + t_c = 54.4 + 49.4 = 103.8\text{ °C}.$$

Выполним расчет нормативных изменений температур при замыкании конструкции для теплового и холодного периода года.

Нормативные значения изменений температур при замыкании конструкций в теплое Δt_w и холодное Δt_c время года определяются по формулам:

$$\Delta t_w = t_w - t_{ow}, \quad \Delta t_c = t_c - t_{oc},$$

где t_w, t_c – нормативные значения температур для теплового и холодного времени года, приведенные в табл. 13.1 СП 20.13330.2016;

t_{ow}, t_{oc} – начальные температуры (температуры замыкания) в теплое и холодное время года, принимаемые в соответствии с п. 13.6. СП 20.13330.2016.

Начальная температура, соответствующая замыканию конструкции или ее части в законченную систему, в теплое и холодное время года определяется по формулам:

$$t_{ow} = 0.8 \cdot t_{VII} + 0.2 \cdot t_I, \quad t_{oc} = 0.2 \cdot t_{VII} + 0.8 \cdot t_I,$$

где t_I, t_{VII} – многолетние средние месячные температуры воздуха в январе и июле, принимаемые для надземной части сооружений по табл. 5.1 СП 20.13330.2016: $t_I = -16.3\text{ °C}$, $t_{VII} = 18.5\text{ °C}$.

Начальная температура, соответствующая замыканию конструкции или ее части в законченную систему, в теплое и холодное время года:

$$t_{ow} = 0.8 \cdot 18.5 + 0.2 \cdot (-16.3) = 11.54 \text{ }^{\circ}\text{C},$$

$$t_{oc} = 0.2 \cdot 18.5 + 0.8 \cdot (-16.3) = -9.34 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Нормативные значения изменений температур при замыкании конструкций в теплое Δt_w и холодное Δt_c время года:

$$\Delta t_w = 54.4 + 9.34 = +63.7 \text{ }^{\circ}\text{C},$$

$$\Delta t_c = -49.4 - 11.54 = -60.9 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Выполним расчет нормативных значений температурных воздействий для теплого и холодного периодов года.

Нормативные значения температурных воздействий, обусловленные перепадом температур по сечению элемента, в соответствии с табл. 13.1 СП 20.13330.2016, в теплое время $\vartheta_w = \theta_5$, в холодное $\vartheta_c = 0$.

Приращение средних по сечению элемента температур и перепада температур от солнечной радиации θ_5 , принимаемое в соответствии с п. 13.5 СП 20.13330.2016:

$$\begin{aligned} \theta_5 &= 0.05 \cdot \rho \cdot S_{max} (1 - k) = \\ &= 0.05 \cdot 0.5 \cdot 804.8 (1 - 0.7) = 6 \text{ }^{\circ}\text{C}. \end{aligned}$$

Тогда $\vartheta_w = 6 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $\vartheta_c = 0$.

Проведем расчет температурных деформаций блока на годовой перепад температур.

Температурные деформации элемента определяются по формуле:

$$\Delta L = L \cdot \alpha \cdot \Delta t,$$

где L – длина элемента, мм,

α – коэффициент линейного расширения, $^{\circ}\text{C}^{-1}$, при температуре от -70 до $+100 \text{ }^{\circ}\text{C}$, принимаемый по табл. Б.1 СП 128.13330.2016;

Δt – максимальный годовой перепад температур, $^{\circ}\text{C}$.

В соответствии с табл. Б.1 СП 128.13330.2016, коэффициент линейного расширения

$$\alpha = 2.3 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}.$$

Длина блока $L = 60\,000 \text{ мм}$. Максимальный годовой перепад температур $\Delta t = 103.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Таким образом, температурные деформации блока в продольном направлении при упрощенном ручном расчете составят:

$$\Delta L = 60\,000 \cdot 2.3 \cdot 10^{-5} \cdot 103.8 = 143.2 \text{ мм}.$$

С целью учета пространственной работы покрытия и для оценки деформированной схемы пространственного блока выполнено численное моделирование температурных воздействий в программном комплексе ING+. Расчеты на температурные воздействия выполнены на максимальный годовой перепад температур $103.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$, прикладываемый к верхней обшивке и верхним поясам ферм пространственного блока.

С учетом проектного предварительного напряжения верхней и нижней обшивок максимальное перемещение в середине пролета в вертикальной плоскости составило 45.2 мм , максимальное перемещение в горизонтальной плоскости составило 10.3 мм на опоре в верхней точке опорной стойки и 2.9 мм на опоре в нижней точке опорной стойки (рис. 5).

Учитывая потери предварительного напряжения верхней и нижней обшивок, о чем свидетельствуют «хлопуны» в верхней мембране и перекосы в нижней, максимальное перемещение в середине пролета в вертикальной плоскости составило 138.3 мм , максимальное перемещение в горизонтальной плоскости составило 26 мм на опоре в верхней точке опорной стойки и 14.5 мм на опоре в нижней, что в целом подтверждается наблюдениями службы эксплуатации (рис. 6).

Для оценки граничных значений перемещений конструкции вследствие температурных воздействий определим предельно допустимое удлинение алюминиевого пространственного блока покрытия от годового перепада температур $[\Delta L]$ согласно табл. Д.4 СП 20.13330.2016:

$$[\Delta L] = \frac{h_s}{180} = \frac{11\,360 \text{ мм}}{180} = 56.8 \text{ мм}.$$

Выводы

Покрытие здания Дворца спорта в г. Тюмени воспринимает циклические температурные воздействия на протяжении всего срока эксплуата-

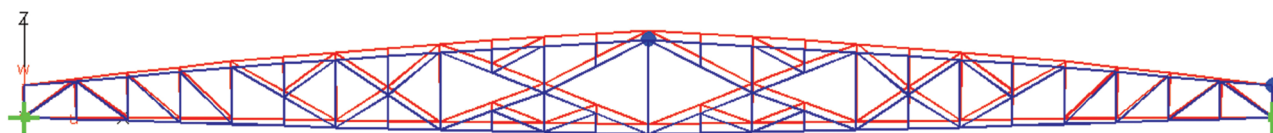


Рис. 5. Деформированная схема пространственного блока покрытия от температурных воздействий с учетом предварительного напряжения обшивок
Fig. 5. Deformed scheme of the spatial covering block taking into account the prestressing of the sheathing

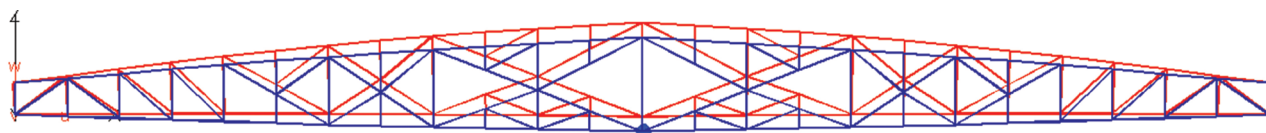


Рис. 6. Деформированная схема пространственного блока покрытия от температурных воздействий без учета предварительного напряжения обшивок
Fig. 6. Deformed scheme of the spatial covering block without taking into account prestressing of the sheathings

ции, что привело к его значительным температурным деформациям.

1. Расчетные температурные деформации ферм покрытия в направлении пролета конструкции составили 14.5 мм, что значительно меньше предельно допустимой величины 56.8 мм (СП 20.13330.2016).
2. Вследствие особенной формы ферм покрытия, составляющих пространственные блоки, и имеющегося предварительного натяжения верхней и нижней обшивок, продольные деформации верхнего пояса покрытия привели к выгибам конструкции на величину до 138.3 мм. Эти деформации негативно сказываются не только на наружных ограждающих конструкциях, но и на стенах и перегородках третьего этажа здания.

Оценивая в исторической ретроспективе построенные в нашей стране сооружения из большепролетных алюминиевых предварительно напряженных конструкций, следует отметить, что не все заявленные достоинства, такие как хорошая коррозионная стойкость и герметичность кровельных обшивок, подтвердились положительным опытом их эксплуатации:

- малый собственный вес алюминиевых конструкций неразрывно связан с вынужденной пониженной жесткостью материала (в 3 раза), его модулем упругости, что приводит к

большим, чем в стальных конструкциях прогибам и перемещениям;

- совмещение функций несущей конструкции и ограждения приводит к циклическим температурным воздействиям на несущий блок покрытия в течение всего срока эксплуатации, усугубляемым большим по отношению к стали коэффициентом линейного расширения алюминия (в 2 раза);
- расчетные температурные деформации ферм покрытия в направлении пролета в 4 раза меньше предельно допустимой величины, однако при этом возникают выгибы ферм на величину до 140 мм, не учтенные проектной документацией и негативно влияющие на строительные конструкции третьего этажа (стены и перегородки);
- появление контактной (гальванической) коррозии, возникающей между стальными анодированными болтами и алюминиевыми элементами, приводит к разрушению алюминиевых конструкций, т. к. защитное покрытие стальных болтов со временем «съедается»;
- герметичность кровельного покрытия нарушается из-за разрушения стыков между блоками и заклепочными соединениями крепления верхней обшивки к поясам стропильных ферм, а также смещения смежных пространственных блоков относительно друг друга.

Библиографический список

1. Михайлов, Г. Г. Большепролетные алюминиевые конструкции для спортивно-зрелищных сооружений и комплексов / Г. Г. Михайлов. – Текст : электронный // Стройпрофиль. – 2007. – № 5. – URL: <https://stroyprofile.com/archive/2701> (дата обращения: 12. 07.2023).
2. Михайлов, Г. Г. Большепролетные алюминиевые конструкции: история и современность / Г. Г. Михайлов. – Текст : электронный // Стройпрофиль. – 2007. – № 4. – URL: <https://stroyprofile.com/archive/2655> (дата обращения: 12. 07.2023).
3. Зыков, С. А. Сравнительный анализ свойств сварных соединений алюминиево-магниевых сплавов, выполненных неплавящимся и плавящимся электродом / С. А. Зыков, В. И. Павлова, Е. П. Осокин. – Текст : непосредственный // Новости материаловедения. Наука и техника. – 2014. – № 5. – С. 2.
4. Конюхов, А. Д. Свойства стыковых сварных соединений алюминиевого сплава / А. Д. Конюхов, А. М. Дриц, А. К. Шуртаков. – Текст : непосредственный // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2013. – № 3. – С. 33–38.
5. Кунин, Ю. С. Расчет и проектирование фрикционных соединений алюминиевых конструкций. Проблемы и пути решения / Ю. С. Кунин, А. А. Синеев. – DOI 10.54950/26585340_2022_2_72. – Текст : непосредственный // Строительное производство. – 2022. – № 2. – С. 72–76.
6. Кунин, Ю. С. Несущая способность фрикционных соединений алюминиевых конструкций / Ю. С. Кунин, А. А. Синеев. – DOI 10.33622/0869-7019.2020.12.82-85. – Текст : непосредственный // Промышленное и гражданское строительство. – 2020. – № 12. – С. 82–85.
7. Высокопрочный алюминиевый сплав с пониженной плотностью для авиастроения / В. И. Елагин, В. В. Захаров, Т. Д. Ростова [и др.]. – Текст : непосредственный // Технология легких сплавов. – 2014. – № 4. – С. 23–31.
8. Вторичное старение применительно к высокопрочным алюминиевым сплавам / В. И. Елагин, Л. Б. Бер, Т. Д. Ростова [и др.]. – Текст : непосредственный // Технология легких сплавов. – 2013. – № 2. – С. 20–28.
9. Развитие идей структурного упрочнения применительно к обшивочным листам из алюминиевых сплавов / В. И. Елагин, В. В. Захаров, Т. Д. Ростова [и др.]. – Текст : непосредственный // Технология легких сплавов. – 2011. – № 3. – С. 18–24.
10. Повышение прочности и пластичности Al-Mg-Mn-сплавов, легированных цирконием и скандием, при равноканальном угловом прессовании / С. В. Добаткин, В. В. Захаров, Ю. Эстрин [и др.]. – Текст : непосредственный // Технология легких сплавов. – 2009. – № 3. – С. 46–59.
11. Швечков, Е. И. Анизотропия механических свойств и характеристик трещиностойкости листов из алюминиевых сплавов / Е. И. Швечков. – Текст : непосредственный // Технология легких сплавов. – 2015. – № 3. – С. 72–84.
12. Механические свойства и характеристики трещиностойкости крупногабаритного профиля из сплава 1163Т / Е. И. Швечков, А. В. Сыров, Г. Д. Лебедев [и др.]. – Текст : непосредственный // Технология легких сплавов. – 2013. – № 3. – С. 51–58.
13. Коргин, А. В. Расчет мостовых конструкций из алюминиевых сплавов на выносливость / А. В. Коргин. – DOI 10.22227/2305-5502.2022.2.3. – Текст : непосредственный // Строительство: наука и образование. – 2022. – Т. 12, № 2. – С. 31–49.
14. Коргин, А. В. Включение ортотропных плит настила в работу несущих конструкций мостов из алюминиевых сплавов / А. В. Коргин, В. А. Ермаков, Л. З. Зейд Килани. – DOI 10.22227/1997-0935.2022.7.882-896. – Текст : непосредственный // Вестник МГСУ. – 2022. – Т. 17, № 7. – С. 882–896.
15. Деформирования и разрушение элементов конструкций из алюминиевого сплава, обладающих структурной неоднородностью / Д. С. Лобанов, М. П. Третьяков, В. Э. Вильдеман [и др.]. – Текст : непосредственный // Аэрокосмическая техника, высокие технологии и инновации. – 2021. – Т. 2. – С. 107–110.
16. Ищук, Ю. П. Достоинства и недостатки строительных конструкций из алюминиевых сплавов / Ю. П. Ищук, П. В. Погодина, А. Н. Леонова. – Текст : непосредственный // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2020. – № 8. – С. 237–244.
17. Ягнюк, Б. Н. Характеристики алюминиевых сплавов для строительных конструкций в европейских стандартах / Б. Н. Ягнюк. – DOI 10.15393/j2.art.2019.4462. – Текст : непосредственный // Resources and Technology. – 2019. – Т. 16, № 1. – С. 68–79.
18. Bisha, A. Aluminium and glass construction. Energetic planning / A. Bisha, A. Londo. – Текст : непосредственный // Механика. Научные исследования и учебно-методические разработки. – 2012. – № 6. – С. 12–18.

19. Ведяков, И. И. Алюминиевые сплавы для строительных металлических конструкций (комментарий к СП 128.13330) / И. И. Ведяков, П. Д. Одесский, М. И. Гукова. – Текст : непосредственный // Промышленное и гражданское строительство. – 2013. – № 10. – С. 5–8.

References

1. Mikhaylov, G. G. (2007). Bol'sheproletnye alyuminievye konstruksii dlya sportivno-zrelishchnykh sooruzheniy i kompleksov. Stroyprofil', (5). (In Russian). Available at: <https://stroyprofile.com/archive/2701> (accessed 12. 07.2023).
2. Mikhaylov, G. G. (2007). Bol'sheproletnye alyuminievye konstruksii: istoriya i sovremennost'. Stroyprofil', (4). (In Russian). Available at: <https://stroyprofile.com/archive/2655> (accessed 12. 07.2023).
3. Zikov, S. A., Pavlova, V. I., & Osokin, E. P. (2014). Srovnitel'nyy analiz svoystv svarnykh soedineniy alyuminievo-magnievykh splavov, vypolnennykh neplavyashchimsya i plavyashchimsya elektrodom. Novosti materialovedeniya. Nauka i tekhnika, (5), P. 2. (In Russian).
4. Konyukhov, A. D., Drits, A. M., & Shutrakov, A. K. (2013). Properties of aluminium alloy butt weld connections. Russian Railway Science Journal, (3), pp. 33-38. (In Russian).
5. Kunin, Yu. S., & Sineev, A. A. (2022). Calculation and design of friction joints of aluminum structures. Problems and Solutions. Construction production, (2), pp. 72-76. (In Russian).
6. Kunin, Ju. S., & Sineev, A. A. (2020). Load-bearing capacity of friction joints of aluminum structures. Industrial and Civil Engineering, (12), pp. 82-85. (In Russian).
7. Yelagin, V. I., Zakharov, V. V., Rostova, T. D., Shvechikov, Ye. I., Fisenko, I. A., & Kirillova, L. P. (2014). A high-strength low-density aluminium alloy for the aircraft industry. Technology of Light Alloys, (4), pp. 23-31. (In Russian).
8. Yelagin, V. I., Ber, L. B., Rostova, T. D., Shvechikov, Ye. I., & Ukolova, O. G. (2013). Secondary ageing with reference to high-strength aluminium alloys. Technology of Light Alloys, (2), pp. 20-28. (In Russian).
9. Yelagin, V. I., Zakharov, V. V., Rostova, T. D., Shvechikov, Ye. I., Fisenko, I. A., & Kirillova, L. P. (2011). Development of structural strengthening ideas in conformity with aluminium alloy skin sheets. Technology of Light Alloys, (3), pp. 18-24. (In Russian).
10. Dobatkin, S. V., Zakharov, V. V., Estrin, Yu. Rostova, T. D., Ukolova, O. G., & Chirkova, A. V. (2009). An improvement in strength and ductility of Al-Mg-Mn alloys alloyed with Zr and Sc obtained due to equal channel angular pressing. Technology of Light Alloys, (3), pp. 46-59. (In Russian).
11. Shvechikov, Ye. I. (2015). Mechanical and crack resistance anisotropy of aluminium alloy sheets. Technology of Light Alloys, (3), pp. 72-84. (In Russian).
12. Shvechikov, Ye. I., Syrov, A. V., Lebedev, G. D., Rostova, T. D., Azanova, Ye. V., & Borovkov, O. V. (2013). Mechanical properties and crack resistance characteristics of large-size 1163T alloy shapes. Technology of Light Alloys, (3), pp. 51-58. (In Russian).
13. Korgin, A. V. (2022). The analysis of fatigue resistance of bridge structures made of aluminum alloys. Construction: Science and Education, 12(2), pp. 31-49. (In Russian). DOI 10.22227/2305-5502.2022.2.3.
14. Korgin, A. V., Ermakov, V. A., & Zeyd Kilani, L. Z. (2022). Getting orthotropic deck plates involved in the structural performance of the bearing structures of bridges made of aluminum alloys. Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture], 17(7), pp. 882–896. (In Russian). DOI 10.22227/1997-0935.2022.7.882-896.
15. Lobanov, D. S., Tret'yakov, M. P., Vil'deman, V. E., Tret'yakova, T. V., & Karmanov, V. V. (2021). Deformirovaniya i razrushenie elementov konstruksiy iz alyuminievogo splava, obladayushchikh strukturnoy neodnorodnost'yu. Aerokosmicheskaya tekhnika, vysokie tekhnologii i innovatsii, 2, pp. 107-110. (In Russian).
16. Ischuk, Y. P., Pogodina, P. V., & Leonova, A. N. (2020). Advantages and disadvantages of building structures made of aluminum alloys. Scientific Works of the Kuban State Technological University, (8), pp. 237-244. (In Russian).
17. Yagnyuk, B. (2019). Aluminium alloys characteristics used for building structures in european standards. Resources and Technology, 16(1), pp. 68-79. (In Russian). DOI 10.15393/j2.art.2019.4462.
18. Bisha, A., & Londo, A. (2012). Aluminium and glass construction. Energetic Planning. Mechanics. Researches and Innovations, (6), pp. 12-18. (In Russian).
19. Vedyakov, I. I., Odessky, P. D., & Gukova, M. I. (2013). Aluminium alloys for building metal structures (commentaries on SP 128.13330). Industrial and Civil Engineering, (10), pp. 5-8. (In Russian).

Сведения об авторах

Малышкин Александр Петрович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры строительных конструкций, Тюменский индустриальный университет, e-mail: a.petrovich.m@yandex.ru

Есипов Андрей Владимирович, канд. техн. наук, доцент кафедры строительных конструкций, Тюменский индустриальный университет, e-mail: sibstroy.2012@yandex.ru

Бараняк Андрей Игоревич, главный инженер проекта, ООО «НПК «Сибстрой Инжиниринг», e-mail: andrei.baranyak@yandex.ru

Есипов Михаил Андреевич, бакалавр, Тюменский индустриальный университет, e-mail: yacorl.mail@gmail.com

Information about the authors

Aleksandr P. Malyshkin, Cand. Sc. in Engineering, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Building Structures, Industrial University of Tyumen, e-mail: a.petrovich.m@yandex.ru

Andrei V. Esipov, Cand. Sc. in Engineering, Associate Professor at the Department of Building Structures, Industrial University of Tyumen, e-mail: sibstroy.2012@yandex.ru

Andrej I. Baranyak, Chief Project Engineer, LLC "RPC "Sibstroy Engineering", e-mail: andrei.baranyak@yandex.ru

Mikhail A. Esipov, Bachelor, Industrial University of Tyumen, e-mail: yacorl.mail@gmail.com

Получена 13 сентября 2023 г., одобрена 23 октября 2023 г., принята к публикации 15 декабря 2023 г.

Received 13 September 2023, Approved 23 October 2023, Accepted for publication 15 December 2023