

фоліпід фосфатидилгліцерин необхідний для стабілізації системи, що розщеплює воду, [8] і світлозбираючого хлорофіл-білкового комплексу [12]. Отже, можна зробити висновок про порушення нормального стану цих комплексів у результаті відзначеної нестачі фосфоліпідів. Частка позакло-ропластних фосфоліпідів, навпаки, збільшувалась. Вміст гліколіпідів зменшувався в умовах кліно-статування.

Загальний вміст ліпідів практично не змінювався в кліностатованих рослинах. При кліностатуванні вміст полярних ліпідів і пігментів зменшувався, а нейтральних ліпідів (тобто запасних тригліцеридів) збільшувався. Це добре узгоджується з фактом накопиченням пластоглобул у стромі хлоропластів. Ми припускаємо, що це відбувалося за рахунок збільшення вмісту нейтральних ліпідів, які входять до складу пластоглобул.

1. Васильев А. М., Муравник Л. Е. Динамика клеточных компонентов тканей листа *Populus deltoides* (Salicaceae) в ходе жизненного цикла. Палисадный мезофилл в ходе роста // Ботанический журн.—1997.—82, № 9.—С. 1—13.
2. Кордюм Е. Л., Сытник К. М., Белявская Н. А. и др. Современные проблемы космической клеточной фитобиологии. — М.: Наука, 1994.—293 с.
3. Родионов В. С., Холопцева Н. П. Определение фосфолипидов листьев растений с помощью двумерной хроматографии в тонких слоях силикагеля // Физиология и биохимия культ. растений.—1974.—6, N 2.—С. 201—206.
4. Румянцева В. Б., Мерзляк М. Н., Машинский А. Л., Нечитайло Г. С. Влияние факторов космического полета на пигментный и липидный состав растений пшеницы // Косм. биология и аэрокосм. медицина.—1990.—24, N 1.—С. 53—55.
5. Силаева А. М., Силаев А. В. Методы количественного анализа электронно-микроскопических изображений хлоропластов // Физиология и биохимия культурных растений.—1979.—11, N 6.—С. 547—562.

6. Aliyev A. A., Abilov Z. K., Mashinskiy A. L., et al. The ultrastructure and physiological characteristics of the photosynthesis system of shoots of garden peas grown for 29 days on the «Salyut-7» space station // USSR Space Life Sci. Digest.—1987.—10.—P. 15—16.
7. Bligh E. G., Dyer W J. A rapid method of total lipid extraction and purification // Can. J. Biochem. Physiol.—1959.—37.—P. 911—917.
8. Gounaris K., Whitford D., Barber J. The effect of thylakoid lipids on an oxygen-evolving Photosystem II preparation // FEBS Lett.—1983.—163—P. 230—234.
9. Kordyum E. L. Biology of plant cells in microgravity and under clinostating // International Review of Cytology.—1997.—171.—P. 1—78.
10. Laurinavichius R. S., Yaroshyus A. V., Marchyukaytis A., et al. Metabolism of pea plants grown under flight conditions // USSR Space Life Sci. Digest.—1986.—4.—P. 23—25.
11. Svennerholm T. The quantitative estimation of cerebroside in nervous tissue // J. Neurochemistry.—1956.—1, N 1.—P. 42—53.
12. Tremolieres A. Reconstitution of photosynthetic structures and activities with lipids // Lipids in photosynthesis: structure, function and genetics. — Kluwer Academic Publishers, 1998.—P. 175—189.
13. Vernon L. P. Spectrophotometric determination of chlorophylls and pheophytins in plant extractions // Analyt. Chem.—1960.—32.—P. 1144—1150.

STRUCTURE-FUNCTIONAL CHANGES OF MESOPHYLL CELLS OF 12-DAYS OLD CLINOROTATED PEA SEEDLINGS

N. I. Adamchuk, R. M. Fomishyna, N. F. Mykhaylenko, and O. K. Zolotareva

Mesophyll cell structure and status of photosynthetic membranes in the true leaves of 12-days pea seedlings grown on the slow horizontal clinostat as compared with vertical control is analysed. The data are discussed in connection with correlation of structure changes of chloroplasts and chlorophylls and carotenoids and so the polar lipids both for chloroplasts and pea leaves.

УДК 577.25:658.3.04

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТКЛИКОВ ОРГАНИЗМА ОПЕРАТОРА НА ВОЗДЕЙСТВИЯ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ

© А. В. Гайдачук, В. Ю. Колосков

Державний аерокосмічний університет ім. Н. Е. Жуковського «ХАІ»

Одне з найважливіших місць у сфері захисту людства від шкідливих наслідків його діяльності займає безпека виробничої життєдіяльності, що передбачає як захист навколишнього середовища та його мешканців, так і захист операторів конкретних шкідливих виробництв.

Проблемы безопасности производственной жизнедеятельности (БПЖД) имеют как гуманитарный, так и экономический аспект [6]. Последний связан

с возможными экономическими потерями при потере оператором контроля над технологическим процессом; ранней потерей трудоспособности и, как

следствие, расходами на реабилитацию и социальное обеспечение оператора; снижением качества продукции, возникающем вследствие перманентного ослабления функциональных способностей работника и т. д. Обеспечение БПЖД является государственной задачей, решаемой на законодательном уровне [4].

Однако существующие подходы к решению проблем БПЖД, сводящиеся к контролю принятых на законодательном уровне регламентов, уже не отвечают масштабности опасностей и экономическим возможностям мирового сообщества и конкретного государства [4]. Необходим пересмотр самой концепции обеспечения БПЖД при проектировании современных производств и разработка новой. В ее основе должен лежать подход, ориентированный на научный анализ влияния производственной среды на оператора как биологическую систему (БС), взаимодействующую с этой средой в течение весьма продолжительного времени (периода трудоспособности оператора), с учетом циклов интенсивного и релаксационного воздействия (рабочих смен, выходных, отпусков).

Одной из проблем описания поведения организма человека при воздействии на него внешних раздражителей является невозможность на данном этапе учета всех его индивидуальных особенностей. В производственной сфере сужение диапазона возможных состояний оператора достигается путем профессионального отбора.

Однако таким образом не удастся исключить все возможности аварийных ситуаций в производстве. Необходимо применить более гибкий и динамичный путь — постоянное отслеживание состояния оператора с целью предупредить возникновение предпосылок к аварийным ситуациям. (Под аварией следует в данном случае понимать не только возникновение нештатной ситуации на производстве, но также и повреждения организма человека — развитие профессиональных заболеваний, ухудшение общего состояния организма в целом и отдельных его подсистем, нарушение их функций.)

В некоторых сферах производственной жизнедеятельности, например космическом полете, требуется решить еще более сложную задачу, а именно: необходимо не только определять состояние оператора в полете, но и влиять на него, причем влияние это должно носить динамический характер. В полете бортовые системы должны определить изменения в состоянии оператора и произвести соответствующие корректирующие воздействия. Основную проблему при этом представляет невозможность точного количественного описания поведения организма конкретного оператора — нет точной модели для

связи входных и выходных параметров. Для моделирования откликов организма оператора можно применить механическую модель [4]. При такой интерпретации принципиально важно то, что прямая аналогия «Биологическая система \leftrightarrow Механическая система» («БС \leftrightarrow МС») может быть применена только для анализа общей для механических и биологических систем функции — сопротивления разрушению при воздействии внешних факторов.

В механике внешним воздействием являются силовые и температурные поля-воздействия, приложенные извне, реакция же на них — возникающие в телах внутренние усилия и деформации. Количественно процесс нагружения тела и его ответная реакция описывается тремя основными законами — физическим законом, законом равновесия и законом сплошности.

Характеристикой приложенных усилий служат напряжения, для описания реакции тела используют относительные деформации. Для БС можно ввести схожие понятия. Внешними воздействиями являются различные факторы окружающей среды. Под их действием в организме происходят изменения его параметров — ухудшается самочувствие, одни органы стимулируются, другие тормозятся.

Устанавливаются следующие соответствия [4]:

а) напряжениям в конструкционном материале соответствует сопротивляемость организма факторам окружающей среды;

б) деформациям в конструкционном материале соответствуют отклики организма на внешние воздействия;

в) внешним усилиям соответствуют обобщенные факторы внешней среды.

Аналогом предела прочности конструкционного материала может выступать широко используемое в БПЖД понятие предела биологической стабильности, количественную оценку которому можно дать, выведя для предварительного анализа некоторое среднее значение его (при котором наступают необратимые изменения) для какой-то группы людей. Под биологической стабильностью понимается способность организма к адекватному отклику на внешние воздействия. Приняв эту аналогию, можно говорить об «анизотропии» биологической стабильности, о биологической нагруженности организма, идентифицируемой с компонентами напряженно-деформированного состояния, возникающего в конструкционном материале под действием силовых факторов.

Большая схематичность такого описания систем организма в известной мере снижает введение компонентов биологической устойчивости, соответствующих компонентам тензора упругих констант. Для

количественного описания поведения БС может быть дана интерпретация основных законов теории БС, а также критерии оценки последствий для различных групп факторов — инкубационного, мгновенного и экологического действия [4].

Так как БС, как и ее подсистемы, обладают ярко выраженной анизотропией, то модель композиционного материала (КМ) представляется наиболее приемлемой для описания ее поведения. Суть такой модели в том, что, как слои КМ, в реакции на воздействие принимают участие все подсистемы БС, но с разной степенью. В КМ степень восприятия слоем нагрузки определяется положением его главных осей относительно направления приложения нагрузки. И для подсистем БС можно ввести параметр, характеризующий их «взаимное расположение» — направление откликов при воздействии раздражителя. В этой модели учитывается также комплексный характер реагирования организма на раздражители. Модель КМ открывает широкие перспективы учета многокомпонентности функциональных систем БС, а также различий в характере связи между сопротивляемостью организма факторам окружающей среды и его относительными откликами [6]: идеально упругая, идеально пластичная модели, комбинация их при псевдопараллельном и псевдопоследовательном их объединении [8].

Применение механических моделей открывает широкие возможности для описания процессов релаксации и старения организма методами теории наследственной механики [3, 5, 9], позволяющими построить для человеческого организма количественные зависимости его параметров от внешних воздействий на организм, а также произвести количественную оценку состояния организма, его живучести в виде критерия биологической устойчивости. При этом уже имеется математический аппарат, пригодный для описания процессов жизнедеятельности БС [9], дающий возможность учета предыстории функционирования БС при анализе ее поведения в будущем. Качество анализа повышается при проведении предварительной классификации объектов исследования по выборкам с учетом их индивидуальных особенностей.

Информационный подход позволяет расширить область количественного описания БС, включить в рассмотрение и другие процессы, помимо сопротивления разрушению при внешних воздействиях, описывая их при этом единообразно.

Под информацией можно понимать внешние воздействия любого рода, а под процессом обработки информации — реакцию системы на внешние воздействия. Применять подобную аналогию можно

при анализе функционирования как БС, так и механической системы. Используя вводимые понятия первичной и вторичной информации, можно описать процесс реагирования организма на внешнее воздействие как процесс «перекодировки». Информационный подход дает возможность применить описанную ранее механическую аналогию для любой из подсистем БС, при этом внутренние воздействия БС станут для описываемой подсистемы внешними.

В общем случае организм стремится компенсировать воздействия на него с целью сохранить равновесие внутренней среды. Можно расширить область рассмотрения компенсаторных реакций БС, считая любую реакцию на внешнее и внутреннее раздражение лишь формой адаптации БС к изменению условий ее существования. Набор реакций намного меньше существующего набора раздражителей, который к тому же постоянно дополняется новыми. Следовательно, для организма человека как БС нельзя построить набор обособленных механизмов реагирования в виде пар «воздействие — реакция». Из-за ограниченного числа возможных способов реагирования диверсификация их достигается разной степенью участия того или иного механизма в конкретном случае.

По признаку эволюционной адекватности раздражители делятся на адекватные — раздражители, с которыми организм уже сталкивался в процессе своей эволюции — и эволюционно новые — те, с которыми организм еще не сталкивался, а значит механизм естественного реагирования на них еще не выработан.

Адекватные раздражители в процессе естественной эволюции вызвали в организме изменения, позволившие ему приспособиться к их воздействию, и не требуют от организма каких-либо специальных усилий для их преодоления. Эволюционно новые же незнакомы организму, а потому вызывают стрессовую адаптацию, что в итоге приводит к снижению уровня резистентности. Помимо этого важным фактором является скорость приложения раздражителя. Для раздражителей в производстве характерны последние два признака — эволюционная новизна и высокая скорость приложения, поэтому при их компенсации включаются механизмы стрессовой адаптации. Для БС характерным состоянием при этом становится общий адаптационный синдром (ОАС) [7, 9], приводящий к преждевременному старению организма, развитию хронических заболеваний. Вредные факторы, действующие на оператора в производстве, относятся, как правило, к эволюционно новым.

При рассмотрении схемы реакции стресса и диаг-

Результаты проверки точности аппроксимации

Приложенный раздражитель		Время реакции, мс								Показатель точности аппроксимации, %
Частота вибрации, Гц	Высокочастотный шум, дБ	До нагрузки	Сразу после нагрузки	через 1 мин	через 5 мин	через 10 мин	через 15 мин	через 20 мин	через 30 мин	
30	75	166	201	196	178	174	173	172	167	2.83
30	85	174	231	235	205	190	191	188	165	9.61
20	75	171	218	199	177	174	167	—	—	3.03
30	—	178	202	203	180	177	176	174	178	4.56
20	—	179	173	154	141	137	—	—	—	1.33
—	75	157	181	164	153	150	—	—	—	1.15
—	85	185	208	194	174	169	—	—	—	0.41

раммы деформации материала при растяжении наблюдается достаточно близкое качественное описание процессов, происходящих при этом [2].

Однако наблюдаемая аналогия применима лишь после введения определенных дополнений. Резистентность организма подчиняется закону исходного уровня Вильдера и принципу периодичности откликов [7, 9]. Первый определяет зависимость реакций БС от исходной величины ее параметров. Второй характерен только для некоторых типов раздражителей, и определяет периодичную смену зон реактивности и ареактивности при изменении величины внешнего воздействия. Введение этих дополнений вызывает необходимость учета предистории функционирования БС, чего можно достигнуть применением аппарата теории наследственной механики, разработанного Ю. Н. Работновым [11].

Закон Вильдера производит фокусировку показателей, что приводит к повышению помехоустойчивости организма и его резистентности. При долгом действии раздражителей пороговой величины происходит релаксация — снижение уровня напряженности за счет адаптационной «деформации» в подсистемах БС. При непрерывном действии раздражителей в организме развиваются усталостные процессы и старение, сходные по характеру с релаксационными. Различие в них выражается в том, что при старении развиваются отклики, приводящие к снижению биологической стабильности, и в конечном счете — к разрушению БС. Релаксация же приводит к оптимальному перераспределению нагрузки между всеми подсистемами БС. При этом уровень напряженности в каждой из подсистем остается безопасным [3, 5].

Особо важен закон Вильдера при последовательном действии нескольких раздражителей. Опыты показывают, что тип реакции формируется первым раздражителем. Он создает фоновое исходное значение показателей для второго раздражителя, второй — для третьего, и т. д. [9].

В настоящее время действие вредных факторов оценивается путем введения предельно допустимых уровней или концентраций. В то же время внешние раздражители влияют на человека комплексно, и их суммарное воздействие может превосходить эффект последовательного действия каждого из них [1]. Поэтому для повышения точности получаемых результатов необходимо определить функциональные зависимости реакций организма на внешние раздражители от их величины.

Информационный подход в комбинации с механической моделью позволяет произвести количественную оценку состояния организма, его живучести в виде критерия биологической устойчивости. Точность описания при этом уменьшается — индивидуальные особенности организма приводят при количественной оценке влияния вредных факторов к большим статистическим разбросам, чем для механических систем, поэтому при рассмотрении модели [4] можно говорить только о влиянии их на оператора в производстве, когда контингент работающих и набор воздействий сужен. Например, уменьшает разброс отбор работников по количественному регламенту нижнего порога чувствительности к вредным воздействиям данного производства.

Для оценки точности метода использованы данные [10] об латентном периоде реакции оператора на зрительный раздражитель при релаксации после снятия внешнего воздействия (таблица).

Набор исследуемых значений $N(t)$ нормировался (за базовое значение принято значение параметра до начала нагружения), затем полученный набор аппроксимировался функцией [11]:

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_0 \left\{ 1 + \frac{\lambda}{\beta} \left[1 - \exp(-\beta \gamma t^{1+\alpha}) \right] \right\},$$

где α , β , γ , λ — параметры аппроксимирующей функции, $\varepsilon_0 = \varepsilon(0)$ — начальное значение отклика.

Анализ полученных зависимостей показал, что в большинстве случаев показатель точности аппрок-

симації знаходиться в межах 5 %. Наблюдаемые отклонения, превышающие эти значения, можно объяснить с учетом упомянутых ранее закона Вильдера и правила периодичности.

Очевидно, что описанный подход может стать научной основой организации безопасности производственной деятельности: с одной стороны — за счет определения профессиональной пригодности людей и сохранения их здоровья, а с другой — за счет сокращения расходов на восстановление здоровья и уменьшения брака и других издержек производства, связанных с высокой биологической восприимчивостью работника к вредным воздействиям производства.

1. Аль-Таххан Биляль, Гайдачук А. В., Хвастунова Е. В. О выборе критерия безопасности производственной деятельности // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов.—1998.—Вып. 12.—С. 86—91.
2. Амосов Н. М. Преодоление старости. — М.: Будь здоров!, 1996.—191 с.
3. Биология старения. Руководство по физиологии. — Л.: Наука, 1982.—616 с.
4. Гайдачук А. В. Новый подход к оценке безопасности технологических процессов на ранних стадиях подготовки производства // Авиационно-космическая техника и технология: Тр. Харьк. авиац. ин-та им. Н. Е. Жуковского за 1995 г. — Харьков: Харьк. авиац. ин-т, 1996.—С. 369—373.

5. Гайдачук А. В. О физических аналогах и математических моделях для биологических систем // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов.—1998.—Вып. 12.—С. 92—98.
6. Гайдачук А. В., Гайдукова В. В. Экономические показатели и критерии безопасности производственной жизнедеятельности при изготовлении препрегов для конструкций из полимерных композиционных материалов // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов.—1998.—Вып. 14.—С. 114—121.
7. Гаркави Л. Х., Квакина Е. Б., Уколова М. А. Магнитные поля, адаптационные реакции и резистентность организма // Реакции биологических систем на магнитные поля. — М.: Наука, 1978.—С. 131—145.
8. Егер Дж. К. Упругость, прочность и текучесть: Пер. с англ. Ю. Н. Востропятюва / Под ред. О. В. Лукина. — М.: Машгиз, 1961.—172 с.
9. Коляда Т. И., Волянский Ю. Л., Васильев Н. В., Мальцев В. И. Адаптационный синдром и иммунитет. — Харьков: Основа, 1995.—282 с.
10. Меньшов А. А., Паранько Н. М., Выщипан В. Ф. и др. Комбинированное действие производственного шума и вибраций на организм. — Киев: Здоров'я, 1980.—176 с.
11. Работнов Ю. Н. Элементы наследственной механики твердых тел. — М.: Наука, 1977.—384 с.

MODELLING OF RESPONSES OF OPERATOR ORGANISM UPON ENVIRONMENT INFLUENCES

A. V. Gaidachuk, V. Yu. Koloskov

УДК 581.44.2+581.1.03

УТВОРЕННЯ МІНІБУЛЬБ КАРТОПЛІ ПРИ КЛІНОСТАТУВАННІ

© І. В. Васильцов

Інститут ботаніки ім. М. Г. Холодного НАН України, Київ

Експлантати стерильно вирощених рослин картоплі (*Solanum tuberosum* L.) сортів «Світанок Київський» і «Лугівський» культивувались на поживному середовищі на протязі 62 діб в умовах контролю і кліностакування. В обох варіантах утворювались мінібульби, кількості яких суттєво не відрізнялись. Проте за анатомо-морфологічними ознаками клітин епідермісу та запасуючої паренхіми виявлено суттєві відмінності.

В останні два десятиріччя було проведено серію космічних експериментів із використанням нижчих і вищих рослин. Ці експерименти були спрямовані на вивчення відповідей рослинної клітини на дію мікрогравітації, яка є одним із факторів космічного польоту [1, 3, 5, 6]. Встановлені прискорений ріст рослин та певні зміни на клітинному рівні. Ці зміни також стосуються пластид, які відповідають за синтез та акумуляцію вуглеводів.

Вуглеводний обмін є важливою частиною метаболізму. І тому різнобічне вивчення вуглеводного метаболізму, який залежить від гравітації, є важ-

ливою ланкою у побудові цілісної картини реакцій рослинних клітин на дію цього фактора.

Зручним об'єктом для вивчення вуглеводного обміну рослин є запасуюча паренхіма бульб картоплі, диференціація якої також відбувається під дією мікрогравітації.

Картопля (*Solanum tuberosum* L.) є одним з восьми рослинних видів, які запропоновані програмою CELSS (Closed Ecological Life Support System) для включення в біореєнеративну систему для підтримання життя астронавтів під час тривалих польотів [11]. Картопля має кілька корисних ха-